

# **PROSES DESALINASI DENGAN MEMBRAN**

**SRI REDJEKI**

**DIREKTORAT PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (DP2M)  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
2011**

# **PENGANTAR**

Buku ini disusun berdasarkan teori-teori tentang membran dan tentang proses desalinasi yang dapat dipergunakan sebagai bacaan tambahan para mahasiswa ataupun yang berminat pada mata pelajaran Teknologi Membran dan mungkin sebagai acuan untuk melakukan suatu penelitian sebagai tugas akhir. Dalam hal ini diharapkan dosen dapat berperan sebagai sumber informasi dan juga sebagai fasilitator. Peran dosen sebagai fasilitator sangat penting karena berhadapan langsung dengan mahasiswa yang dapat belajar mandiri.

Dalam buku ini banyak diberikan teori dengan ilustrasinya dan hasil dari suatu penelitian laboratorium membran tentang proses desalinasi sehingga memudahkan untuk para pembaca memahaminya. Akhirnya, penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk lebih menyempurnakan buku ini, baik bagi mahasiswa maupun pembaca yang lain.

## **1. Tujuan Instruksional Umum**

Setelah mempelajari Buku Teks Proses Desalinasi dengan membran diharapkan pembaca akan mengerti dan mengetahui lebih dalam mengenai macam-macam proses desalinasi dengan menggunakan Teknologi membran maupun dengan proses desalinasi lainnya. Buku Teks ini juga diharapkan, memberikan landasan cara penulisan suatu penelitian sebagai salah satu tugas akhir mahasiswa semester VII.

## **2. Tujuan Instruksional Khusus :**

Setelah mempelajari Buku Teks Desalinasi dengan membran ini para pembaca diharapkan dapat memperoleh kemampuan sebagai berikut :

- a. mengetahui dan menjelaskan tentang proses desalinasi dengan berbagai alat.
- b. menjelaskan mekanisme desalinasi yang menggunakan berbagai proses membran
- c. mengetahui aplikasi membran elektrodialisis untuk proses desalinasi air laut

# **BAB 1**

## **DESALINASI**

### **Pokok Bahasan :**

Dalam bab ini dibahas tentang desalinasi secara umum, arti dan pentingnya proses ini pada masa sekarang dimana 97.5% bumi kita terdiri dari air namun yang layak dikonsumsi hanya 2.5 % ini menunjukkan begitu besar jumlah air namun sedikit sekali air yang bisa digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Kelangkaan air bersih menjadi kendala tersendiri di kota besar seperti Jakarta, Palembang, Bandung dll. Sedikitnya resapan air dan seringnya banjir membuat air yang biasa dikonsumsi menjadi kotor dan berpengaruh pada kualitas air yang kita gunakan. Dibahas juga tentang proses desalinasi air laut, dengan menggunakan beberapa metode.

### **Tujuan Instruksional, pembaca diharapkan :**

1. Memahami pengertian tentang proses desalinasi
2. Mengetahui tentang penggolongan air
3. Memahami tentang pengertian desalinasi air laut
4. Memahami proses desalinasi air laut dengan beberapa metode

## 1.1 Tinjauan Umum

Desalination atau desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kadar garam berlebih dalam air untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi binatang, tanaman dan manusia. Seringkali proses ini juga menghasilkan garam dapur sebagai hasil sampingan.

Air merupakan kata yang sering kita dengar dan banyak sekali manfaatnya, dimana 97.5% bumi kita terdiri dari air namun yang layak dikonsumsi hanya 2.5 % ini menunjukkan begitu besar jumlah air namun sedikit sekali air yang bisa digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Kelangkaan air bersih menjadi kendala tersendiri di kota besar seperti Jakarta, Palembang, Bandung dll. Sedikitnya resapan air dan seringnya banjir membuat air yang biasa dikonsumsi menjadi kotor dan berpengaruh pada kualitas air yang kita gunakan. Belum lagi pengaruh hujan asam dan polusi udara yang memperburuk kualitas air.

Berikut daftar hujan asam yang ada di Indonesia selama November, Desember 2007.

**Tabel 1.1 Daftar Hujan yang ada di Indonesia, November, Desember 2007**

| Kota                | November 2007 | Desember 2007 |
|---------------------|---------------|---------------|
| Jakarta (BMG pusat) | 4.39          | 4.35          |
| Bandung             | 4.98          | 4.67          |
| Citeko (jabar)      | 5.52          | 4.57          |
| Ngurah Rai(bali)    | 5.59          | 5.92          |
| Palembang           | 5.85          | 5.50          |

Kelangkaan air bersih tidak saja melanda Indonesia tetapi sudah menjadi masalah global. Di Spanyol Sevilla sacrament sampai Sydney air bersih menjadi masalah yang diperdebatkan dalam politik di Negara tersebut baik di tingkat daerah sampai nasional.(WWF ; 2007). Pengaruhnya dengan kesehatan, air merupakan zat yang selalu digunakan dalam kehidupan manusia. Dan suatu sarana utama untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat, karena air merupakan salah satu media dari berbagai macam penularan. Tiap hari manusia membutuhkan air untuk mandi, mencuci, minum,dll. Kebutuhan air untuk digunakan sangatlah krusial karena harus air yang baik, bersih, dan menyehatkan. Peningkatan kualitas dan kuantitas air dengan jalan mengadakan pengelolaan terhadap air yang baik akan membantu masyarakat dalam pemanfaatan air. Berangkat dari hal itu, pengolahan pengadaaan

air dalam skala besar sangatlah penting sehingga akan membantu masyarakat dalam mengelola air.

Sebenarnya pengolahan air dengan desalinasi merupakan cara lama untuk mendatangkan air dalam skala besar namun untuk memperbaiki cara desalinasi konvensional diperlukan cara khusus dan modern, tidak hanya itu juga cara tersebut harus murah dan tahan lama. Ada beberapa metode untuk menangani kelangkaan air tersebut. Yaitu dengan distilasi konvensional, *reverse osmosis*, *elektro dialysis* dan distilasi membrane. Dari tiga pertama terdapat masalah dengan mahal nya pembuatan alat dan yang terakhir merupakan teknologi khusus untuk memurnikan air dengan biaya rendah. desalinasi system ditilasi membrane bisa dengan memurnikan air hujan atau air laut.

## **1.2 Penggolongan Air**

Penggolongan air menurut peruntukannya ditetapkan sebagai berikut :  
Golongan A : Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu.

Golongan B : Air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum.

Golongan C : Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.

Golongan D : Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan industri pembangkit listrik tenaga air.

## **1.3 Air Laut**

Air laut adalah air murni yang didalamnya larut berbagai zat padat dan gas. Zat terlarut meliputi garam-garam organik yang berasal dari organisme hidup, dan gas-gas terlarut fraksi terbesar dari bahan terlarut terdiri dari garam-garam anorganik yang berwujud ion-ion. Enam ion anorganik membentuk 99,28% berat dari bahan anorganik padat. Ion-ion ini adalah klor natrium belerang (sebagai sulfat), magnesium, kalsium, dan kalium. Lima ion berikutnya menambah 0.71% berat, hingga sebelas ion bersama-sama membentuk 99,99 % berat zat terlarut.

Diantara sisa (0,01%), dari zat-zat yang terlarut dalam air laut, terdapat beberapa garam anorganik yang sangat penting artinya bagi binatang-binatang laut. Termasuk ke dalamnya adalah nutrien, yaitu fosfat dan nitrat, yang dibutuhkan tumbuh-tumbuhan untuk sintesis zat organik dalam fotosintesis, dan silikon dioksida yang diperlukan diatom dan radiolaria untuk membentuk cangkangnya.

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Memiliki luas wilayah 5.193.252 km<sup>2</sup> dua per tiga luas wilayahnya merupakan lautan, yaitu sekitar 3.288.683 km<sup>2</sup>. Sehingga Indonesia juga memiliki julukan sebagai benua maritim. Ironinya di tengah kepungan air laut itu ternyata masih ada beberapa tempat yang mengalami kekurangan air, terutama mengenai ketersediaan air bersih. Akibatnya, di tempat seperti itu air menjadi barang eksklusif. Masyarakatnya harus membeli untuk mendapatkan air bersih. pemanfaatan teknologi RO untuk menghasilkan air tawar di Indonesia pun masih menghadapi beberapa kendala. Diantaranya, mengenai bahan baku air laut yang sudah relatif kotor. Sehingga, jika penggunaan bahan baku semacam ini dipaksakan tentu akan berpotensi untuk menyumbat membran (Republika, 2008).

#### **1.4 Desalinasi Air Laut**

Pada dasarnya prinsip pemurnian/desalinasi air laut adalah memisahkan garam dari air laut sehingga diperoleh air tawar yang dapat dilakukan sebagai berikut :

##### **Penyulingan**

Percobaan pertama untuk memisahkan garam dan air laut adalah meniru cara alam, yaitu dengan menguapkan air laut kemudian mengembunkan uapnya kembali. Ketika air laut dipanaskan, hanya air yang menguap, garam-garam yang terlarut tetap tinggal dalam larutan (air laut). Dengan menggunakan alat suling bagian dalam wadah perebus air laut dilengkapi dengan pipa-pipa tegak untuk memperluas permukaan air yang dipanaskan. Dengan perluasan ini dapat diperoleh banyak uap dalam waktu relatif singkat

Alat suling ini dapat digunakan sebagai perlengkapan kapal penangkap ikan atau penyediaan air minum di perkampungan-perkampungan nelayan yang jauh dari sumber air tawar. Bahan bakar seperti kayu, arang batu, minyak tanah dapat dipergunakan sebagai tenaga pemanas. Kemudian cara ini dikembangkan untuk mesin-mesin suling yang menggunakan bahan bakar minyak atau tenaga matahari (solar system). Pada umumnya, bahan bakar minyak sangat mahal sehingga dicari berbagai cara untuk menghemat bahan bakar tersebut, misalnya :

- a. Memasukkan kembali air pendingin kedalam tempat pendidih air. Karena air pendingin tersebut telah menyerap panas dari uap air, berarti sudah ada pemanas

awal, sehingga pemasukan kembali air ini sebagai sumber uap dapat menghemat waktu dan tenaga pemanas.

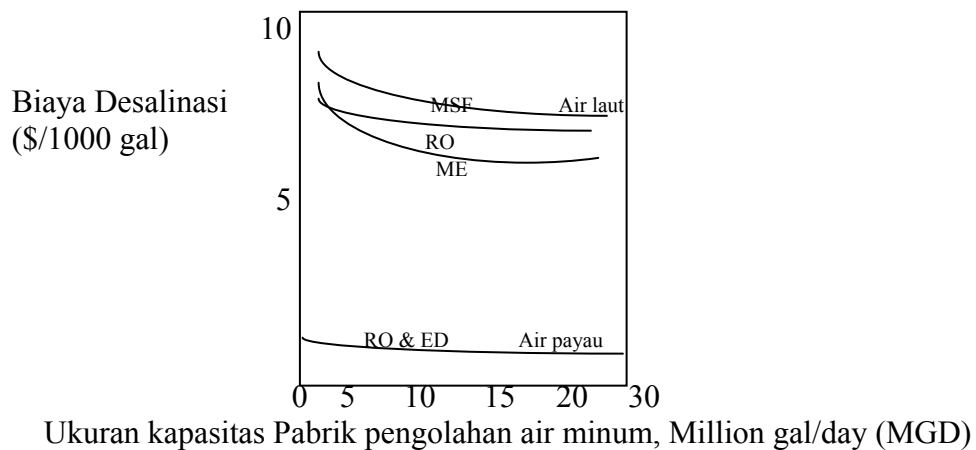
- b. Memanaskan air dibawah tekanan atmosfer (760 cm Hg), air mendidih pada temperatur 100 derajat celcius, tetapi bila tekanannya dinaikkan menjadi dua kali (1520 mm Hg), air tidak mendidih sampai temperatur mencapai 120,1 derajat celcius. Sebaliknya apabila tekanan udara dikurangi menjadi separuhnya, penguapan akan segera terjadi, ini dikenal dengan sebutan penguapan secara kilat (*flash evaporation*). Penguapan bertambah cepat apabila tekanan udara dikurangi lagi.

### **1.5 Proses Desalinasi Air Laut**

Ada beberapa metode desalinasi air laut yang banyak digunakan saat ini antara lain dengan cara ;

- a. distilasi, b. evaporasi c. desalinasi dengan menggunakan membran yaitu *reverse osmosis* (RO), distilasi membran dan elektrodialisis (ED).

Harga energi yang terus meningkat menyebabkan proses tersebut menjadi tidak kompetitif. Sementara itu teknologi membran pada saat ini sedang berkembang dengan pesatnya, hal ini disebabkan karena kegunaannya yang strategis pada proses pemisahan. Dibandingkan teknologi pemisahan lainnya, teknologi membran menawarkan keunggulan seperti pemakaian energi yang rendah, sederhana dan ramah lingkungan (Hartomo, 1991). Pada gambar 1.1 dapat dilihat perbandingan biaya operasi desalinasi untuk menghasilkan air minum berdasarkan ukuran pabrik (Baker, 1991). Untuk umpan air laut, RO memberikan biaya terendah pada kapasitas di bawah 3 MGD (Million gal/day). Di atas 3 MGD teknologi lain seperti ME (*Multiple effect evaporation*) dan MSF (*Multistage Flash*) masih kompetitif. Sementara itu untuk pengolahan air payau, RO dan ED mempunyai biaya pengolahan cukup rendah. Perlu dicatat juga bahwa, saat ini ada kecenderungan menurunnya harga membran dari tahun ke tahun sehingga biaya desalinasi dengan membran menjadi ekonomis (Nur Rahayu, 1999).



**Gambar 1.1 Perbandingan perkiraan biaya operasi desalinasi Berdasarkan ukuran kapasitas Pabrik (Baker, 1991)**

Kelemahan pada proses desalinasi dengan menggunakan membran adalah pada penggunaan dan pemilihan membran yang tepat dan terjadinya *fouling* dan polarisasi konsentrasi serta umur membran (Mulder, 1990). *Fouling* didefinisikan sebagai deposisi irreversibel dari partikel yang tertahan pada atau di dalam pori membran dan akan merusak daya hantar membran tersebut, sehingga dapat menyebabkan hambatan transport ion melewati permukaan membran. Terjadinya *fouling* disebabkan oleh adanya ion penyebab *fouling* (asam humat, koloid), ion tersebut bergerak ke membran, tinggal pada daerah elektropositipnya (membran kation). Polarisasi konsentrasi yaitu berkurangnya elektrolit pada permukaan membran, sehingga tahanan meningkat drastis terhadap rapat arus. Polarisasi konsentrasi menyebabkan efisiensi arus merosot, konsumsi energi meningkat, perpindahan ion yang dikehendaki menurun.

Peneliti di Amerika Serikat dan Korea telah membuat sebuah membran yang dapat mengurangi biaya penyaringan garam dari air laut. Membran ini terbuat dari material baru berbasis-polisulfon yang tahan terhadap klorin. Dengan material ini beberapa tahapan desalinasi yang memakan banyak biaya tidak diperlukan lagi. Proses desalinasi yang paling umum adalah osmosis terbalik, yaitu dengan mendesak air laut melewati membran-membran semi-permeabel untuk menyaring kandungan garamnya.

Meski banyak energi yang diperlukan untuk menjalankan pabrik-pabrik desalinasi yang berskala besar, namun tetap tidak dapat menaikkan jumlah



persediaan air bersih, sementara di seluruh dunia, lebih dari 1 milyar orang tidak memiliki akses terhadap air yang aman dan bersih.

Salah satu kekurangan dari membran-membran desalinasi yang digunakan sekarang ini adalah penyumbatan membran dari waktu ke waktu yang disebabkan oleh pertumbuhan alga atau selaput-biologis bakteri. Penambahan klorin membunuh mikroorganisme dalam air tetapi juga merusak membran yang berbasis-poliamida. Jadi klorin biasanya dihilangkan dari air sebelum dilewatkan pada membran dan kemudian ditambahkan kembali ke dalam air setelah melewati membran.

Sebuah membran baru, yang berbasis polisulfon, menjanjikan untuk menjadikan proses yang rumit dan memakan biaya ini tidak diperlukan lagi. "Polisulfon memiliki ketahanan terhadap klorin yang lebih baik dibanding poliamida karena rantai utamanya terdiri dari cincin-cincin aromatik dan ikatan karbon, sulfur dan oksigen yang kuat," (Ho Bum Park, pimpinan salah satu tim peneliti di Universitas Ulsan, Korea Selatan). "Dengan demikian, polisulfon tidak mengandung ikatan-ikatan amida yang sensitif terhadap serangan klorin cair." Polisulfon sebelumnya telah digunakan untuk desalinasi, tetapi air tidak mengalir dengan baik melalui material ini. Ini diatasi dengan merubah cara pembuatan polimer ini, kata Benny Freeman, yang memimpin tim peneliti lain di Universitas Texas Austin. "Dulunya, gugus-gugus hidrofil ekstra ditambahkan ke polimer setelah polimerisasi sehingga menempatkan gugus-gugus ini pada posisi yang paling tidak stabil. Sebagai gantinya, kami memadukan gugus-gugus ini kedalam monomer, sehingga ketika polimerisasi terjadi gugus-gugus ini berpadu secara langsung dengan struktur polimer."



**Gambar 1.2 Ho Bum Park sedang memegang dua sampel membran desalinasi yang tahan klorin.**

Polimer yang baru ini telah dipatenkan oleh tim peneliti ini dan Freeman berharap material ini akan memiliki kegunaan dan dikomersialkan dalam jangka waktu tiga tahun ke depan.

"Membran yang sangat tahan terhadap klorin ini dapat menghilangkan tahapan-tahapan proses yang memakan banyak biaya dan secara signifikan meningkatkan daya tahan membran yang digunakan dalam desalinasi," kata Ian Lomax, Manajer Proyek Besar di Dow Water Solutions.

### **Solusi alami**

Tetapi masih banyak penelitian yang diperlukan jika desalinasi berbasis-membran diharapkan untuk mengatasi kekurangan persediaan air secara global. Pengoperasian pabrik-pabrik desalinasi berbasis-membran yang berskala besar terlalu mahal bagi kebanyakan negara berkembang. (Kebanyakan pabrik desalinasi yang ada sekarang ini dibuat di dekat pembangkit listrik di daerah pantai, sehingga memanfaatkan kelebihan energi dan panas limbah). Untuk negara-negara maju, manfaat desalinasi harus lebih besar dibanding emisi bahan-bakar fosil yang ditimbulkan.

Peningkatan efisiensi membran merupakan kunci untuk mengurangi biaya desalinasi dan imbas bahan bakar fosil, kata Thomas Mayer, yang bekerja di Laboratorium Nasional Sandia di Albuquerque, US. Tim Mayer berencana untuk mencapai efisiensi ini dengan meniru proses yang digunakan oleh sistem-sistem alami. "Ginjal manusia misalnya, menggunakan membran-membran yang dapat menyaring garam sekitar 100 kali lebih efisien dibanding membran-membran sintetik," kata dia. "Jika kita dapat mereplikasi membran ini, akan sangat efektif."

Jika membran mencapai efisiensi yang cukup bagus, maka membran-membran desalinasi bahkan bisa dipadukan ke dalam sistem-sistem filtrasi yang dioperasikan langsung oleh manusia, seperti "LifeStraw" yang dikembangkan oleh Vestergaard Frandsen. Alat sedotan yang sederhana ini mengandung sebuah membran yang menyaring mikroorganisme-mikroorganisme dari air dan dihisap langsung oleh manusia untuk mengoperasikannya - walaupun salah seorang juru bicara dari perusahaan tersebut mengatakan kepada *Chemistry World* bahwa belum ada rencana untuk membuat "sedotan" desalinasi seperti ini dalam waktu dekat.

Saat ini, sistem-sistem osmosis terbalik merupakan cara yang paling efektif untuk melakukan desalinasi dalam skala besar, tetapi pengembangan sedang dilakukan untuk efisiensi menggunakan teknologi-teknologi lain seperti distilasi

termal atau proses evaporasi. Lomax menambahkan, sehingga proses-proses membran akan mengalami kompetisi nantinya.

## **1.6 Latihan 1**

Berilah tanda silang pada huruf B jika pernyataan di bawah ini Benar dan huruf S jika pernyataan Salah

- 1). B - S Desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kadar garam berlebih dalam air untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi binatang, tanaman dan manusia.
- 2). B - S Ada beberapa metode untuk menangani kelangkaan air tersebut. Yaitu dengan distilasi konvensional, *reverse osmosis*, *elektro dialysis* dan distilasi membran.
- 3). B - S Teknologi desalinasi dengan cara distilasi biasanya tidak memerlukan energi yang sangat besar untuk perubahan fase.
- 4). B - S Desalinasi air laut adalah memisahkan garam dari air laut sehingga diperoleh air tawar
- 5). B - S Ketika air laut dipanaskan, hanya air yang menguap, garam-garam yang terlarut tetap tinggal dalam larutan (air laut).
- 6). B - S Kelemahan pada proses desalinasi dengan menggunakan membran adalah pada penggunaan dan pemilihan membran yang tepat dan terjadinya *fouling* dan polarisasi konsentrasi serta umur membran
- 7). B - S Membran yang terbuat dari material baru berbasis-polisulfon yang tahan terhadap klorin.
- 8). B - S Saat ini, sistem-sistem osmosis terbalik merupakan cara yang paling efektif untuk melakukan desalinasi dalam skala besar
- 9). B - S Fouling didefinisikan sebagai deposisi irreversible dari partikel – partikel yang tertahan, koloid, emulsi, suspensi, makromolekul, garam, dll.
- 10). B - S Polarisasi konsentrasi yaitu berkurangnya elektrolit pada permukaan membran, sehingga tahanan meningkat drastis terhadap rapat arus. Polarisasi konsentrasi menyebabkan efisiensi arus merosot, konsumsi energi meningkat, perpindahan ion yang dikehendaki menurun.

## **1.7 Rangkuman**

Desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kadar garam berlebih dalam air untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi binatang, tanaman dan manusia. Seringkali proses ini juga menghasilkan garam dapur sebagai hasil sampingan. Kelangkaan air bersih tidak saja melanda Indonesia tetapi sudah menjadi

masalah global. Salah satu sumber air yang cukup besar untuk Negara Indonesia adalah Air Laut. Pada dasarnya prinsip pemurnian/desalinasi air laut adalah memisahkan garam dari air laut sehingga diperoleh air tawar. Ada beberapa metode desalinasi air laut yang banyak digunakan saat ini antara lain dengan cara ;

a. distilasi, b. evaporasi c. desalinasi dengan menggunakan membran yaitu *reverse osmosis* (RO), distilasi membran dan elektrodialisis (ED).

### **1.8 Tes Formatif 1**

Lingkarilah a, b, c, pada jawaban yang saudara anggap paling benar.

1). Air merupakan kata yang sering kita dengar dan banyak sekali manfaatnya, dimana ; a.97.5%, b. 90%, c.85%, bumi kita terdiri dari air namun yang layak dikonsumsi hanya 2.5 %

2). Ada beberapa metode desalinasi air laut yang banyak digunakan saat ini antara lain dengan cara ;

a. filtrasi, b. ekstraksi c. desalinasi dengan menggunakan membran.

3). Salah satu kekurangan dari membran-membran desalinasi yang digunakan sekarang ini adalah a. Penyumbatan, b. Kebocoran, c. Kurang efisien.

4). Saat ini, sistem-sistem a. osmosis terbalik, b. Elektrodialisis, c. Distilasi, merupakan cara yang paling efektif untuk melakukan desalinasi dalam skala besar

5). Enam ion anorganik membentuk 99,28% berat dari bahan anorganik padat. Ion-ion ini adalah a. magnesium, b. natrium, c. zinc (sebagai sulfat).

### **1.9 Umpan balik dan Tindak Lanjut**

Cocokkanlah jawaban saudara dengan kunci Tes Formatif yang ada dibagian akhir modul ini, hitunglah jumlah jawaban saudara yang benar, kemudian gunakan rumus dibawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan saudara terhadap materi kegiatan 1.

Rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban saudara yang benar}}{5} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang saudara capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

-69% = kurang

Kalau saudara mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, saudara dapat meneruskan dengan kegiatan 2, Bagus., tetapi bila kurang dari 80%, saudara harus mengulang kegiatan belajar 1, terutama bagian yang saudara belum kuasai.

## **BAB 2**

# **TEKNOLOGI MEMBRAN**

### **Pokok Bahasan :**

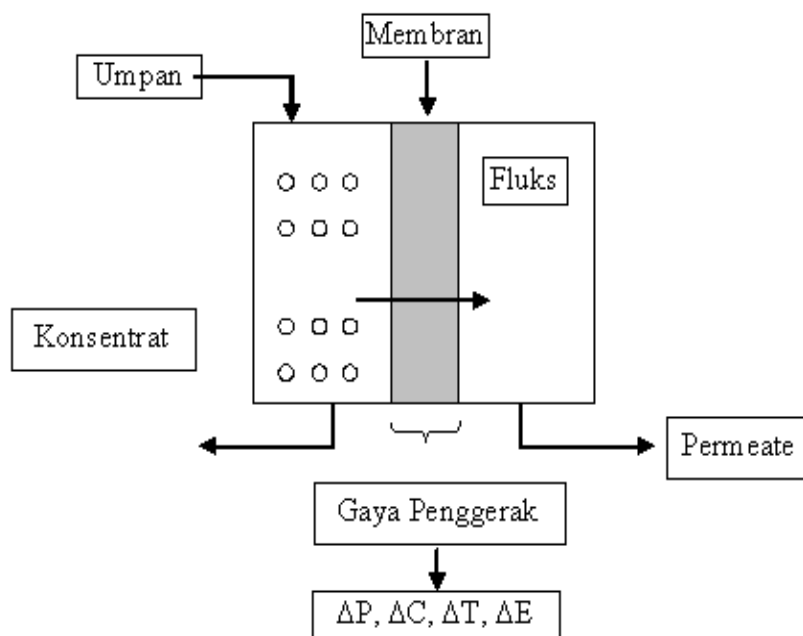
Dalam bab ini dibahas tentang pengertian dari membran dan keunggulan serta kelemahannya, yaitu keunggulannya antara lain yaitu pemisahan dengan membran tidak membutuhkan zat kimia tambahan dan juga kebutuhan energinya sangat minimum. Membran dapat bertindak sebagai filter yang sangat spesifik. Pada bab ini juga dilengkapi dengan klasifikasi dari membran secara lengkap.

### **Tujuan Instruksional, pembaca diharapkan :**

1. Memahami pengertian tentang proses menggunakan teknologi membran
2. Mengetahui tentang keunggulan serta kelemahan dari proses membran
3. Mengetahui klasifikasi dari membran
4. Memahami proses membran melalui tampilan gambar

## 2.1 Tinjauan Umum Teknologi Membran

Membran secara umum dapat didefinisikan sebagai lapisan tipis semipermeabel yang berfungsi sebagai alat pemisah berdasarkan sifat fisiknya. Hasil pemisahan berupa *retentate* atau disebut konsentrat (bagian dari campuran yang tidak melewati membran) dan *permeate* (bagian dari campuran yang melewati membran). Proses pemisahan pada membran pada hakekatnya merupakan perpindahan materi secara selektif yang disebabkan oleh gaya dorong yang berhubungan dengan parameter penentu antara dua media yang dipisahkan seperti perbedaan potensial listrik ( $\Delta E$ ), gradien tekanan ( $\Delta P$ ), gradien konsentrasi ( $\Delta C$ ) dan gradien temperatur ( $\Delta T$ ) seperti yang tertera pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1. Skema pemisahan oleh membran  
(Mulder, 1990)**

Teknologi membran telah menjadi topik hangat dalam beberapa tahun terakhir ini. Hal itu mungkin dipicu fakta bahwa pemisahan dengan membran memiliki banyak keunggulan yang tidak dimiliki metode-metode pemisahan lainnya. Keunggulan tersebut yaitu pemisahan dengan membran tidak membutuhkan zat kimia tambahan dan juga kebutuhan energinya sangat minimum. Membran dapat bertindak sebagai filter yang sangat spesifik. Hanya molekul-molekul dengan ukuran tertentu saja yang bisa melewati membran sedangkan sisanya akan tertahan



di permukaan membran. Selain keunggulan-keunggulan yang telah disebutkan, teknologi membran ini sederhana, praktis, dan mudah dilakukan. Namun teknologi membran juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain, dengan terjadinya *fouling* dan polarisasi konsentrasi.

## 2.2 Klasifikasi Membran

Jenis proses pemisahan dengan membran dapat dibedakan berdasarkan beberapa kriteria yaitu antara lain, gaya dorongnya, bentuk susunan modul, struktur dan prinsip pemisahan.

### 2.2.1 Jenis membran berdasarkan gaya dorongnya.

Membran ditinjau dari gaya dorongnya dapat dikelompokkan dalam beberapa golongan antara lain seperti pada Tabel 2.1. di bawah ini.

**Tabel 2 1. Klasifikasi proses membran berdasarkan gaya dorongnya, ukuran partikel dan jenisnya.**

| gaya dorongnya | <div> <div>← organik →</div> <div>← koloid →</div> <div>← ion →</div> <div>← makromolekul →</div> <div>← suspensi →</div> <div>solids</div> </div> |
|----------------|--|
| $\Delta C$     | Dialisis<br>Membran cair<br>Pervaporasi  |
| $\Delta E$     | Elektrodialisis  |
| $\Delta P$     | Reverse Osmosis<br>Nanofiltrasi<br>Ultrafiltrasi<br>Mikrofiltrasi  |
| $\Delta T$     | Distilasi membrane   |

0,1    1    10    100    1    10    100

← nanometer    Ukuran Partikel    micrometer →

( Cheryan, Munir, 1986, Baker, 1991)

### 2.2.2. Jenis membran berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan

Terdapat tiga golongan membran berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan :

**a. Membran berpori**, yaitu membran dengan prinsip pemisahan didasarkan pada perbedaan ukuran partikel dengan ukuran pori membran. Selektivitas pemisahan ditentukan oleh ukuran pori dan hubungannya dengan ukuran partikel yang akan dipisahkan. Membran jenis ini biasanya digunakan untuk proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.

Definisi pori ada 3 jenis yaitu ;

a. makropori  $> 50 \text{ nm}$

b. mesopori  $2 < \text{ukuran pori} < 50 \text{ nm}$

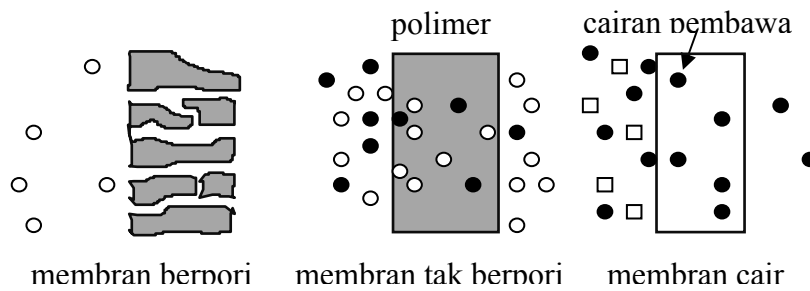
c. mikropori  $< 2 \text{ nm}$

Dari data di atas maka membran mikrofiltrasi termasuk makropori sedangkan membran ultrafiltrasi termasuk makropori dan mesopori.

**b. Membran tak berpori**, yaitu membran yang mampu memisahkan molekul-molekul yang memiliki ukuran sangat kecil dan tidak dapat dipisahkan dengan membran berpori. Prinsip pemisahannya berdasarkan perbedaan kelarutan dan atau kemampuan berdifusi. Sifat intrinsik bahan polimer membran menentukan tingkat selektivitas dan permeabilitas. Metode sederhana untuk karakteristik membran nonpori adalah menentukan permeabilitas terhadap gas dan liquid.

**c. Membran cair**, yaitu membran yang pemisahannya tidak ditentukan oleh membrannya ataupun bahan pembentuk membran tersebut, tetapi oleh sifat molekul pembawa yang sangat spesifik. Media pembawa merupakan cairan yang terdapat dalam pori-pori membran berpori. Permeaselektivitas terhadap suatu komponen bergantung terutama pada kespesifikan molekul pembawa.

Secara skematik jenis membran tersebut digambarkan pada gambar 2.2

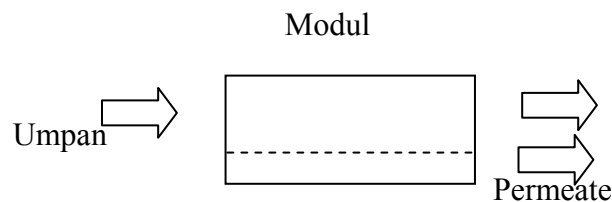


**Gambar 2.2 Jenis membran berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan**  
( Mulder, 1990)

### 2.2.3 Jenis membran berdasarkan penyusunan modul

#### a. Penyusunan Modul

Unit operasi tunggal atau unit terkecil membran yang memiliki luas tertentu dimana membran tersebut dirancang secara teknis untuk digunakan disebut sebuah modul. Modul membran merupakan bagian inti dari suatu instalasi membran. Modul terdiri atas membran, struktur penahan tekanan, inlet feed, outlet permeate dan outlet retentate.



**Gambar 2.3 Skema Module Membran**  
(Hartomo, 1992)

#### b. Tujuan perancangan modul ada tiga, yaitu :

1. Untuk menjaga pada level membran, sirkulasi fluida yang diolah dapat berjalan dengan baik dan tidak tergantung oleh adanya polarisasi konsentrasi dan endapan partikel.
2. Untuk menghasilkan modul yang kompak, sehingga diperoleh pertukaran luas permukaan maksimum per satuan volume.
3. Untuk menghindari kebocoran-kebocoran antara bagian umpan dan permeate.

Dalam perencanaan harus diperhatikan beberapa aspek penting yaitu kerapatan pemasangan (packing density) yang tinggi, biaya pembuatan yang efektif,

kemudahan yang tinggi, biaya pembuatan yang efektif, kemudahan pembersihan membran, kemudahan penggantian membran, dan hold – up volume yang rendah.

### c. Macam-macam Tipe Modul Membran

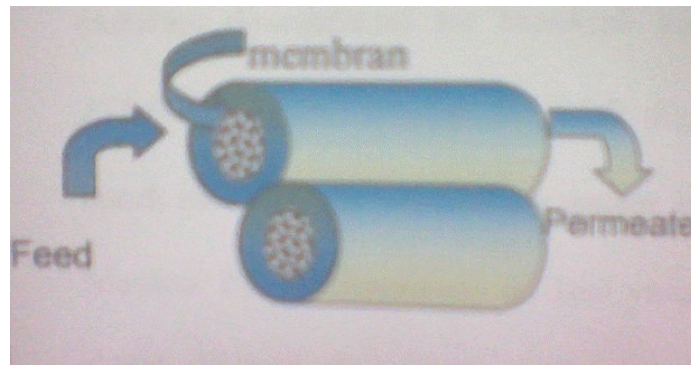
Empat tipe modul yang banyak terdapat dipasaran antara lain : plate and frame, spiral wound, tubular dan hollow fiber.

**Tabel 2.2 Perbandingan Susunan Modul**

| Jenis Modul     | Keuntungan  | Kerugian   |
|-----------------|---|--|
| Tubular         | Mudah dibersihkan dengan bahan kimia atau secara mekanik jika membran dicemari<br>Dapat diproses pada umpan tertutup dengan penolakan minimal<br>Kontrol hydrodinamik yang bagus<br>Pipa yang dapat dipindahkan sendiri | Dibutuhkan volume yang tinggi untuk per unit area membran (secara relatif)<br>Relatif mahal<br>Gampang dimasukkan dengan partikel-partikel |
| Spiral Wound    | Padat, permukaan membran yang bagus/rasio volume<br>Sedikit mahal dari modul tubular  | Membran yang tercemar panas sulit dibersihkan<br><br>Sangat mudah dimasukkan dengan partikel-partikel                                      |
| Hollow Fiber    | Padat, permukaan membran yang sangat bagus / rasio volume<br>Ekonomis   | Sangat sulit dibersihkan<br><br>Gampang dimasukkan pada aliran dengan titik semu<br>Sulit dibersihkan                                      |
| Plate and Frame | Permukaan membran yang bagus/rasio volume<br>Perlengkapan yang bagus  | Mahal  |

#### c.1 Tubular

Modul tubular merupakan membran lurus yang dikelilingi oleh lapisan pendukung berpori (porous sublayer) dan tube penyangga. Umpan mengalir dibagian dalam sepanjang tube dan permeate melalui membran ke dalam lapisan pendukung berpori (porous support tube) dan lubang-lubang pada porous support tube. Diameter dalam tube ini berkisar antara 6 – 40 mm.

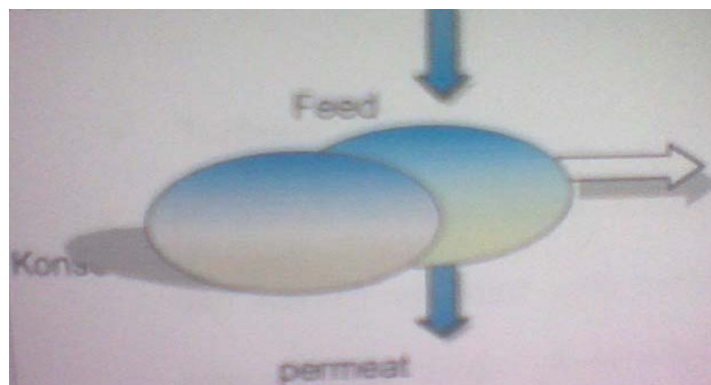


**Gambar 2.4 Skema Modul Tubular**

Modul ini tidak memerlukan prefiltrasi pada umpan dan mudah dibersihkan serta mudah beradaptasi dengan fluida yang sangat kental. Kerugian dari pemakaian modul ini adalah packing density-nya rendah sehingga menaikkan biaya pembuatannya.

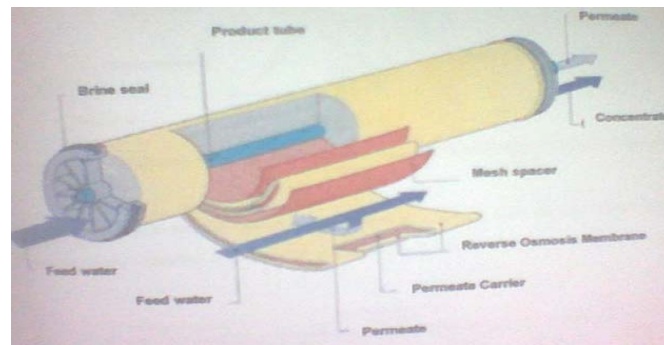
### **c.2. Plate and Frame**

Modul ini terdiri atas lembaran membran dan plat penyangga (support plate). Membran dan plat disegel dengan menggunakan gasket atau dapat juga direkatkan langsung dengan heating seal (menggunakan panas) atau perekat tertentu untuk membentuk suatu elemen membran yang menyatu. Beberapa elmen / plat ini kemudian disusun membentuk suatu tumpukan (stack) dan membentuk suatu modul yang lengkap. Jarak antar plat biasanya sekitar 0,5 – 3 mm.



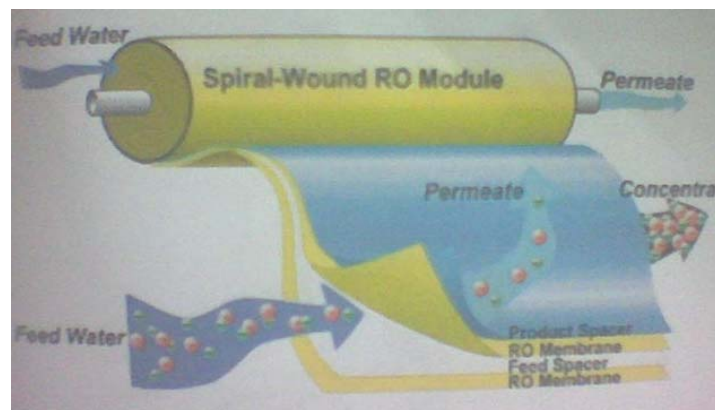
**Gambar 2.5 Skema Modul Plate and Frame**

### c.3 Spiral Wound



**Gambar 2.6 Struktur Modul Spiral Wound**

Modul spiral wound merupakan hasil pengembangan dari modul plate and frame. Modul ini pertama kali dikembangkan pada pertengahan tahun 1960-an oleh Gulf General Atomies untuk diaplikasikan pada proses desalinasi. Desain modul ini menyerupai susunan sandwich yang terdiri dari beberapa membran datar (flat sheet), spacer, dan material berpori yang dililitkan mengelilingi suatu saluran pengumpul permeate (permeate collecting tube). Larutan umpan mengalir aksial sepanjang modul dalam celah yang terbentuk antara spacer dan membran atau masuk pada permukaan silindris dari elemen dan keluar secara aksial.



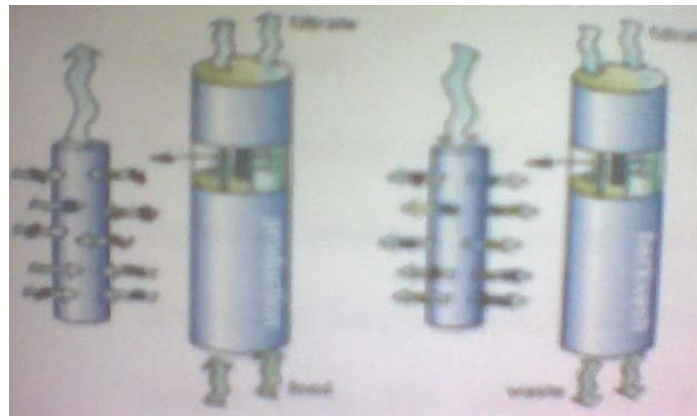
**Gambar 2.7 Aliran Spiral Wound**

Modul spiral wound ini ter dirisi susunan dua membran flat sheet yang dipisahkan oleh plat penyangga berpori, yaitu suatu mesh permeabel. Membran disegel pada ketiga tepinya sehingga membentuk suatu pocket (kantong) dengan menggunakan epoxy atau polyurethane. Pada tepi satunya lagi (open end)

ditempelkan pada suatu tube central yang berlubang yang digunakan lagi oleh fiberglass untuk menambah kekuatan mekanik dari membran.

#### c.4 Hollow Fiber

Modul hollow fiber merupakan konfigurasi modul yang memiliki packing density paling tinggi yaitu sekitar  $1000 - 10000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Modul ini terdiri dari susunan serat yang sangat halus yang disusun menjadi suatu bundel dalam suatu shell silindris, dimana dalam satu bundel terdapat 5 – 10000 serat. Diameter luar serat berada dalam kisaran  $80 - 200 \mu\text{m}$  dengan ketebalan dinding  $20 \mu\text{m}$ .



**Gambar 2.8 Skema Modul Hollow Fiber**

Modul hollow fiber dapat dioperasikan dengan aliran umpan kedalam serat (inside-out) atau aliran umpan dari luar serat (outside-in). Pada umumnya dioperasikan dengan aliran umpan kedalam serat dengan permeate mengalir secara radial keluar melalui dinding serat (inside-out), dan hal ini memungkinkan alat untuk dioperasikan pada tekanan lintas membran yang lebih tinggi karena membran jenis MF dan UF memiliki stabilitas struktural yang tinggi.

Keuntungan lain dari modul ini adalah pada pengolahan air dengan proses ultrafiltrasi memungkinkan dilakukan backflushing dengan cara mendorong permeate masuk ke dalam membran dengan tekanan yang lebih besar daripada tekanan feed. Perubahan arah aliran melalui dinding serat akan melepaskan cake partikel yang tertahan pada permukaan serat, keluar dari modul mengikuti aliran fluida.

## **2.2.4 Berdasarkan penyusunannya membran terbagi atas tiga bagian, yaitu :**

### **a. Batch / Sekali Proses**

Membran dengan sekali proses, dimana selama proses berlangsung tidak terdapat input ataupun output.

### **b. Continuous / Proses Berkelanjutan**

Membran dengan proses berkelanjutan, dimana selama proses berlangsung terdapat input dan output

### **c. Tapered Casde / Proses Berkelanjutan Dengan Katub**

Membran dengan proses berkelanjutan / Continuous dengan dilengkapi katub, yang berguna apabila concentrate masih bisa digunakan dan dapat dikembalikan dengan tanpa mengulang atau mengembalikannya dari awal. Dengan cara menutup katub keluaran, sehingga concentrate dapat di recycle lagi.

## **2.3 Bahan membran**

Bahan membran yang secara komersil tersedia dipasaran, dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini :

**Tabel 2.3 Bahan membran komersil yang tersedia dipasaran**

| No | Proses Membran  | Material   |
|----|-----------------|--|
| 1. | Reverse Osmosis | Celulosa acetat, Polyamide, Thin film Composite  |
| 2. | Nanofiltrasi    | Celulosa acetat, Polyamide, Thin film Composite.   |
| 3. | Ultrafiltrasi   | Celulosa acetat, Regenerated celulosa, Poly amide, Poly acrilonitril, Polysulfon, Polyvinilideneflouride, Thin film composite. |
| 4. | Mikrofiltrasi   | Celulose acetat, Ceramic, Polycarbonat, Polypropylene, Polytetrafloroethylene, Polyvinilideneflouride.                         |
| 5. | Elektrodialisi  | Membrane kation dan membrane anion   |



## 2.4 Karakteristik membran

Karakteristik membran dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat membran yang dihasilkan. Dengan karakteristik ini akan memberikan sejauh mana efisiensi dan efektifitas yang dapat diperoleh dari membran yang telah dibuat. Ada beberapa macam teknik yang bisa digunakan untuk mengetahui karakteristik membran, namun yang umum digunakan hanya 2, yaitu permeabilitas dan permeselektifitas.

### 2.4.1 Permeabilitas

Permeabilitas menyatakan ukuran kecepatan suatu spesi tertentu untuk melewati membran. Membran yang baik adalah membran yang mempunyai permeabilitas yang besar. Metode permeabilitas digunakan dengan asumsi daya kapilaritas melalui pori membran, ukuran pori dapat dihitung melalui fluks yang melalui membran pada temperatur konstan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Hagen – Poiseuille} : \quad j = \frac{\varepsilon r^2 \Delta P}{8 \eta r \Delta x} \quad (1)$$

Dimana  $j$  adalah fluks fluida melalui membran dengan driving force  $\Delta P/\Delta X$ ,  $\Delta P$  merupakan perbedaan tekanan ( $\text{N/m}^2$ ) dan  $\Delta X$  adalah ketebalan membran (m). faktor pembanding terdiri dari jari – jari  $r$  (m), viskositas cairan  $\mu$  (pa.s), porositas permukaan membran  $\varepsilon$  ( $= n \pi r^2/\text{luas permukaan}$ ) dan faktor tortuosity  $\tau$ . Metode ini sangat mudah, fluks fluida melalui membran dihitung sebagai fungsi tekanan. Pada saat tekanan minimum, pori terbesar menjadi permeable, pori yang lebih kecil masih bersifat impermeable. Tekanan minimum sangat tergantung pada tipe material membran (sudut kontak), tipe permeat (tegangan permukaan) dan ukuran pori. Persamaan yang cukup sederhana untuk menyatakan permeabilitas adalah :

$$j = \frac{V}{A \cdot t} \quad (2)$$

Dimana :  $V$  adalah volume permeat (Liter)

$t$  adalah selang waktu pengambilan permeat (jam)

$A$  adalah luas permukaan membran ( $\text{m}^2$ )

### 2.4.2 Permselektivitas

Permselektivitas adalah kemampuan membran untuk menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu. Untuk membran berpori permselektivitas ditentukan oleh batas berat molekul yang dapat ditahan. Pada proses ultrafiltrasi kemampuan membran dinyatakan dengan kemampuan untuk menahan molekul yang mempunyai ukuran spesifik. Hal ini diukur dengan rejeksi (R) yang dapat ditulis :

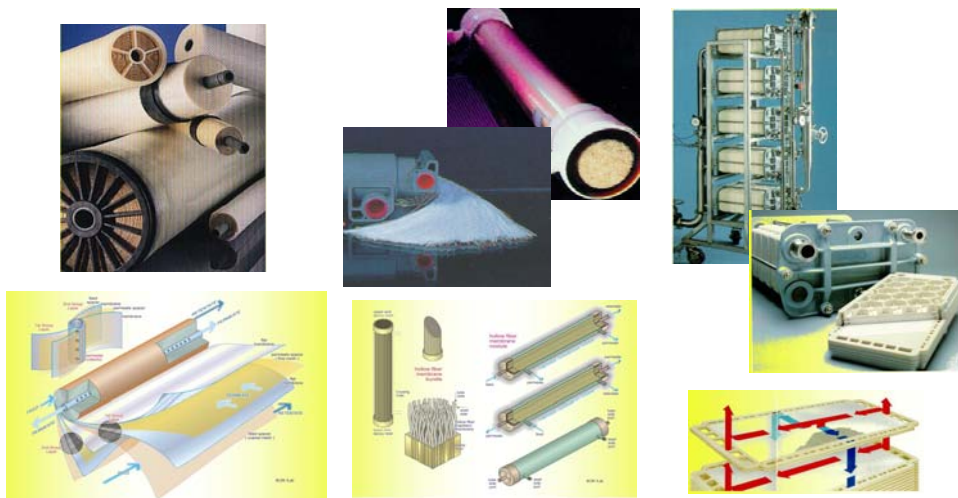
$$\% R = \left[ 1 - \frac{C_p}{C_f} \right] \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :  $C_p$  adalah konsentrasi permeat

$C_f$  adalah konsentrasi feed

### 2.5 Ilustrasi modul membran sesungguhnya

Pada gambar dibawah ini akan lebih jelas terlihat bentuk dari bermacam-macam modul seperti yang diterangkan di depan, sehingga diharapkan akan membantu pada pemilihan jenis modul yang akan dipergunakan.



**Gambar 2.9 Ilustrasi modul membran**

## 2.6 Latihan 2

Berilah tanda silang pada huruf B jika pernyataan di bawah ini Benar dan huruf S jika pernyataan Salah

- 1). B - S Membran secara umum dapat didefinisikan sebagai lapisan tipis semipermeabel yang berfungsi sebagai alat pemisah berdasarkan sifat kimianya.
- 2). B - S Keunggulan Teknologi membran dengan proses pemisahan lainnya adalah di antaranya hemat energi, bersih, relatif tidak menimbulkan limbah dan kemampuannya untuk memisahkan larutan-larutan yang peka terhadap suhu.
- 3). B - S Terdapat lima golongan membran berdasarkan struktur dan prinsip pemisahannya.
- 4). B - S Berdasarkan penyusunannya membran terbagi tiga yaitu ; batch, semi batch dan kontinyu
- 5). B - S Bahan Reverse Osmosis yang ada dipasaran terdiri dari ; Selulosa acetat, Polyamide, Thin film Composite.
- 6). B - S Permeabilitas menyatakan ukuran kecepatan suatu spesi tertentu untuk melewati membran. Membran yang baik adalah membran yang mempunyai permeabilitas yang kecil.
- 7). B - S Permeselektivitas adalah kemampuan membran untuk menahan atau meewatkan suatu spesi tertentu. Untuk membran berpori permeselektivitas ditentukan oleh batas berat molekul yang dapat ditahan.
- 8). B - S Modul adalah pengemasan membran didalam suatu unit. Berdasarkan modulnya membran terdiri dari 5 modul.
- 9). B - S Fouling didefinisikan sebagai deposisi irreversible dari partikel – partikel yang tertahan, koloid, emulsi, suspensi, makromolekul, garam, dll.
- 10). B - S Permeselektivitas adalah kemampuan membran untuk menahan atau meewatkan suatu spesi tertentu. Untuk membran berpori permeselektivitas tidak ditentukan oleh batas berat molekul yang dapat ditahan.

## 2.7 Rangkuman

Membran secara umum dapat didefinisikan sebagai lapisan tipis semipermeabel yang berfungsi sebagai alat pemisah berdasarkan sifat fisiknya. Proses pemisahan pada membran pada hakekatnya merupakan perpindahan materi secara selektif yang disebabkan oleh gaya dorong yang berhubungan dengan parameter penentu antara dua media yang dipisahkan seperti perbedaan potensial listrik ( $\Delta E$ ), gradien tekanan

( $\Delta P$ ), gradien konsentrasi ( $\Delta C$ ) dan gradien temperatur ( $\Delta T$ ). Teknologi membran mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses pemisahan lainnya. Beberapa diantaranya hemat energi, bersih, relatif tidak menimbulkan limbah dan kemampuannya untuk memisahkan larutan-larutan yang peka terhadap suhu. Namun teknologi membran juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain, dengan terjadinya *fouling* dan polarisasi konsentrasi. Klasifikasi Membran terdiri atas ; gaya dorong, struktur dan prinsip pemisahan, proses pemisahannya, modul dan penyusunannya.

## 2.8 Tes Formatif 2

Lingkarilah a, b, c, d pada jawaban yang saudara anggap paling benar.

- 1). Elektrodialisis adalah proses pemisahan menggunakan membran berdasarkan beda potensial ( $\Delta E$ ), materi yang dapat dipisahkan oleh alat ini adalah : a. koloid, b. ion, c. emulsi, d. solid.
- 2). Proses yang menggunakan Mikrofiltrasi dapat memisahkan ukuran partikel : a. 0,1-1 nanometer, b. 10-100 nanometer, c. 1-10 nanometer, d. >1000 nanometer.
- 3). Membran dengan proses berkelanjutan / Continuous dengan dilengkapi katub, yang berguna apabila concentrate masih bisa digunakan dan dapat dikembalikan dengan tanpa mengulang atau mengembalikannya dari awal adalah termasuk membran : a. batch, b. kontinyu, c. tapered cascade, d. semi kontinyu
- 4). Ada berapa bentuk dari modul membran ? ; a. 1, b. 2, c. 3, d. 4
- 5). Membran Mikrofiltrasi termasuk membran : a. Membran cair, b. membran padat, c. membran tak berpori, d. membran berpori.

## 2.9 Umpan balik dan Tindak Lanjut

Cocokkanlah jawaban saudara dengan kunci Tes Formatif yang ada dibagian akhir modul ini, hitunglah jumlah jawaban saudara yang benar, kemudian gunakan rumus dibawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan saudara terhadap materi kegiatan 1.

Rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban saudara yang benar}}{5} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang saudara capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

-69% = kurang

Kalau saudara mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, saudara dapat meneruskan dengan kegiatan 2, Bagus., tetapi bila kurang dari 80%, saudara harus mengulang kegiatan belajar 1, terutama bagian yang saudara belum kuasai.

## **BAB 3**

### **BEBERAPA JENIS PROSES MEMBRAN**

**Pokok Bahasan :**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai beberapa macam proses membran yang sering dijumpai pada penelitian-penelitian saat ini, lengkap dengan ilustrasi gambarnya dan fungsi masing-masing alat. Proses membran tersebut terdiri dari ; membran mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, elektrodialisis, reverse osmosis, nanofiltrasi, membran cair dan dialisis.

**Tujuan Instruksional, pembaca diharapkan :**

1. Memahami, jenis-jenis proses membran
2. Memahami prinsip kerja dari masing-masing proses membran
3. Memahami fungsi dari masing-masing proses membran
4. Memahami kelemahan dan kelebihan dari masing-masing proses
5. Mampu memilih proses membran yang sesuai dengan tujuan penelitian

#### **3.1 Uraian dan Contoh jenis proses membran**

### 3.1.1 Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi (MF) dikomersialkan pertama kali pada tahun 1927 oleh Sartorius-Werke di Jerman. Mikrofiltrasi dapat dibedakan dari Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkan seperti pada tabel 1. Pada MF, garam-garam tidak dapat di rejeksi. Proses pemisahan dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu dibawah 2 bar. Membran MF memiliki ukuran pori antara 0,02 sampai 10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10 sampai 150  $\mu\text{m}$ . MF dapat menahan koloid, mikroorganisme dan suspensi solid dan bahan-bahan yang ukurannya lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata ukuran pori karena menahan adsorptive.

#### a. Modul Membran

Untuk dapat mengaplikasikan membran di dalam skala teknik, umumnya diinginkan membran dengan permukaan yang cukup luas, hal ini dapat diakomodir dengan mengemas membran di dalam suatu unit yang biasanya disebut **modul**.

Beberapa modul membrane yang biasa dipergunakan pada proses Mikrofiltrasi adalah : spiral wound, plate and frame dan hollow fiber.

#### b. Aplikasi membran mikrofiltrasi antara lain ;

- Pada pemurnian air untuk menghilangkan mikroorganisme
- Pada industri makanan, diperlukan untuk proses sterilisasi
- Pemisahan antara air-minyak dan emulsi

### 3.1.2 Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi adalah suatu proses membran yang sifatnya terletak antara hiperfiltrasi ( atau osmosis berlawanan / kebalikan ) dan mikrofiltrasi. Membran ultrafiltrasi termasuk membran berpori yang mampu menyaring partikel – partikel dengan ukuran 0,01 – 1 mikron. Dimana mampu memisahkan koloid, makromolekul, mikroorganisme, dan partikel penerima yang akan mengalami pengaruh muatan. Mekanisme pemisahan pada proses ultrafiltrasi adalah penyaringan berdasarkan ukuran molekul dengan menggunakan perbedaan tekanan antar membran sebagai gaya dorong. Aliran dari dan ke membran dapat terjadi karena adanya perbedaan tekanan di kedua permukaan membran. Ultrafiltrasi dioperasikan dengan tekanan 1 – 10 atm.

#### 1. Modul membran

Membran ultrafiltrasi, dapat dikerjakan dengan menggunakan modul spiral wound, tubular, hollow fiber serta flat frame filter. Karakteristik tiap – tiap modul dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Karakteristik Tiap – Tiap Modul**

|  | Plate and frame                      | Spiral wound  | Tubular             | Hollow fiber   |
|--|--------------------------------------|---|---------------------|--|
| Packing densitas                           | Sedang                               | Tinggi  | Rendah              | Tinggi   |
| Energi                                     | Rendah-sedang untuk (aliran Laminer) | Sedang (jarak menghilangkan tekanan )                   | Tinggi (turbulen )  | Rendah (laminer-steady)  |
| Pengaturan aliran dan Pengontrol kesalahan | Sedang                               | Sedang – baik (untuk suspensi non solid sedang-rendah ) | Baik                | Sedang-baik, (untuk Comen feed) sedang rendah (untuk shell side feed ) |
| Cleaning                                   | Sedang                               | Kadang-kadang sulit bila jarak Tersumbat                | Baik                | Memungkinkan terjadinya backflushing                                   |
| Penggantian                                | 1 shet                               | Elemennya saja  | Pipa atau elemennya | Elemennya  |

( Drioli. E ; Loio. G ; and Gatapano, 1990 )

**Tabel 3.2 Karakteristik membran ultrafiltrasi**

| Membran           | asimetrik berpori  |
|-------------------|--|
| Ketebalan         | 150 $\mu\text{m}$ ( monolitik untuk beberapa keramik )   |
| Ukuran pori       | 1 – 100 $\mu\text{m}$  |
| Gaya pendorong    | tekanan ( 1 – 10 bar )   |
| Prinsip pemisahan | mekanisme sieving  |
| Material membran  | polimer ( polisulfon, poliakrilonitril, dll )<br>keramik ( zirkonium oksida, aluminium oksida )  |
| Aplikasi utama    | Dairy ( susu, whey, pembuatan keju )<br>Bahan makanan ( protein dan pati kentang )<br>Metalurgi ( emulsi minyak air, electropaint recovery )<br>Tekstil ( Indigo )<br>Farmasi ( enzim, antibiotik, pirogen )<br>Automotif ( electropaint )<br>Pengolahan air |

( Sumber : I. G. Wenten, 2001 )

Membran ultrafiltrasi diaplikasikan antara lain pada industri makanan yaitu untuk pemekatan susu, pembuatan keju, pengambilan protein whey, klarifikasi juice



buah dan alkohol, dll. Pada bidang kedokteran, membran ultrafiltrasi terutama digunakan untuk hemodialisis. Membran ultrafiltrasi juga banyak digunakan pada industri obat – obatan, tekstil, kimia, metalurgi, kertas, dll.

## **2. Material Membran Ultrafiltrasi**

Ultrafiltrasi menggunakan membran *porous* dan mempunyai struktur asimetrik. Membran yang paling banyak digunakan secara komersial dalam proses ultrafiltrasi dibuat dengan menggunakan proses inversi fasa. Beberapa material yang sering digunakan adalah :

- a. Polysulfone/ polyethersulfone
- b. Polivinilidene flourida
- c. Polyacrilonitrile
- d. Cellulosa asetat
- e. Polyimide

Polysulfone dan polyether sulfone mempunyai stabilitas kimia dan termal yang sangat baik dan diindikasikan dengan nilai Tg ( temperatur perubahan keadaan dari sifat karet ke sifat gelas ) yang cukup tinggi yakni sekitar 190°C dan 230°C. Polimer – polimer ini banyak digunakan secara luas sebagai membran ultrafiltrasi dan sebagai bahan penopang pada membran komposit.

Polimer polycrilonitril juga dapat digunakan sebagai material membran ultrafiltrasi yang bersifat hidrofilik dengan adanya gugus nitril yang sangat polar. Polimer polyimid secara umum mempunyai karakter yang baik untuk digunakan dalam pembuatan membran ultrafiltrasi. Kombinasi stabilitas termal dan kimia membuat polimer jenis ini menjadi salah satu material pilihan dalam pembuatan membran.

## **3. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Ultrafiltrasi**

Membran ultrafiltrasi pada umumnya merupakan membran inversi fasa. Inversi fasa adalah proses dimana polimer ditransformasikan dalam keadaan cair menjadi padat. Proses pemadatan ini dimulai dari transisi, dari keadaan cair sampai menjadi dua cairan ( liquid – liquid demixing ). Pada keadaan tertentu dalam pencampuran, salah satu fasa cair, yakni polimer berkonsentrasi tinggi akan menjadi padat dalam bentuk matriks padatan. Tahap permulaan transisi ini dikendalikan sehingga morfologi dari membran dapat ditentukan.

Konsep inversi fasa ini dapat dilakukan dengan beberapa teknik antara lain :

- a. Penguapan pelarut.
- b. Pengendapan dengan pengontrolan penguapan.
- c. Pengendapan secara termal.
- d. Pengendapan pada fasa uap.
- e. Pengendapan dengan pencelupan.

Teknik pengendapan dengan pencelupan, pada saat ini paling banyak dilakukan untuk menyiapkan membran inversi fasa. Pada teknik pengendapan dengan pencelupan, larutan polimer ( polimer dan solven ) dibentuk pada penopang yang sesuai dan dicelupkan pada bak koagulasi yang mengandung larutan non-pelarut. Struktur membran yang diperoleh merupakan hasil kombinasi antara perpindahan massa dan pemisahan fasa. Semua proses inversi fasa didasarkan atas prinsip – prinsip termodinamika.

Membran dari proses inversi fasa di atas memberikan struktur membran berpori dan berbentuk asimetrik. Membran asimetrik ini terdiri dari lapisan atas tipis ditopang oleh lapisan berpori dibawahnya. Melihat hal ini, maka pengkarakterisasian membran melibatkan karakterisasi lapisan atas tersebut ( ketebalan, distribusi ukuran pori, dan porositas permukaan ). Diameter pori pada umumnya berkisar antara 0,001 – 1 mikron. Teknik – teknik yang dapat dilakukan untuk melakukan karakterisasi membran ultrafiltrasi antara lain adalah :

**a. Adsorpsi dan desorpsi gas.**

Metode ini biasanya menggunakan gas inert seperti nitrogen sebagai zat yang teradsorpsi dan terdesorpsi dalam penentuan ukuran dan distribusi ukuran pori. Volume total pori suatu membran ultrafiltrasi ditentukan dari banyaknya gas yang teradsorpsi pada tekanan jenuh. Metode ini kurang akurat karena memperhitungkan pori *dead end*. Pori *dead end* ini tidak memberikan kontribusi perpindahan massa dalam suatu proses ultrafiltrasi.

**b. Termoporometry.**

Metode ini didasarkan atas pengukuran kalorimetrik atas perubahan padat – cair dalam benda berpori. Metode ini memanfaatkan perbedaan temperatur pembekuan air di dalam pori embrane dan pengukurannya dilakukan dengan menggunakan alat *differential scanning calorimeter*. Metode ini juga memperhitungkan pori *dead end* sehingga kurang akurat.

**c. Permporimeter.**

Metode ini lebih akurat dibandingkan kedua metode di atas karena tidak memperhitungkan pori *dead end*. Metode ini didasarkan atas pengukuran penyumbatan pori dari gas yang terkondensasi dan fluks gas yang melewati membran secara bersamaan. Problem utama dalam menggunakan metode ini, kita harus dapat menjaga tekanan uap di kedua permukaan membran sebelum kesetimbangan termodinamika tercapai. Keuntungan utama dengan menggunakan metode ini adalah kita hanya mengukur pori yang aktif saja sehingga lebih akurat.

**d. Pengukuran rejeksi solut.**

Metode ini didasarkan atas pengukuran fraksi solut yang terejeksi atau tertahan disalah satu permukaan membran. Istilah yang sering disebut dalam metode ini adalah MWCO ( *Molecular Weight Cut Off* ) yakni berat molekul dimana 90% fraksi dari suatu solut tertahan disuatu permukaan membran.

**e. Transmisi elektron mikroskopik.**

Metode ini didasarkan atas perhitungan transmisi elektron dalam melewati medan muatan di dalam membran ultrafiltrasi.

#### 4. Material Membran

Pada dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai material asal pembuat membran tetapi adanya bermacam – macam sifat fisika dan kimia, sehingga hanya beberapa saja yang bisa digunakan.

Batasan pH pada temperatur 25°C dan temperatur max pada pH 7 untuk polimer membran yang berbeda dan informasi mengenai ketahanan terhadap bahan kimia diperlihatkan pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Material Membran**

| Material/ Polimer | Batasan<br>PH pd | Temp<br>max pd | Resistensi<br>Chlorine | Resistensi<br>Pelarut |
|-------------------|------------------|----------------|------------------------|-----------------------|
|-------------------|------------------|----------------|------------------------|-----------------------|

|                          | 25°C   | pH 7      |             |                |
|--------------------------|--------|-----------|-------------|----------------|
| Cellulose acetate        | 2 – 9  | 50        | cukup       | Kurang         |
| Polysulphone             | 0 – 14 | 8 ( 100 ) | cukup       | Cukup          |
| Polyethersulphone        | 0 – 14 | 80(100 )  | baik        | cukup/<br>baik |
| Sulphonated polysulphone | 2 – 12 | 60 ( 80 ) | cukup       | Kurang         |
| Polyvinilidinedifluoride | 1 – 12 | 80(100 )  | sangat baik | Baik           |
| Polyamide( aromatik )    | 2 – 12 | 60        | kurang      | Baik           |
| Polyacrylonitrile        | 2 – 12 | 50        | baik        | Cukup          |
| Polyamideimide           | 2 – 9  | 50        | kurang      | Baik           |
| Polyimide                | 2 – 8  | 50        | kurang      | sangat baik    |
| fluorocopolymer          | 0 – 13 | 80(100 )  | sangat baik | cukup/<br>baik |

( Sumber : I. G. Wenten, 2001 )

## 5. Membran Selulosa Asetat

Bahan mentah membran selulosa asetat adalah selulosa, dimana selulosa merupakan polisakarida yang didapat dari tanaman. Selulosa dan deviratnya mempunyai struktur rantai yang linier, seperti batang, molekulnya infleksibel, yang dipercaya sebagai karakteristik penting untuk aplikasi mikrofiltrasi. Bersifat sangat hidrofilik namun tidak larut dalam air.

### a. Beberapa keuntungan selulosa asetat sebagai material membrane, yaitu :

- Sifatnya merejeksi fluks dan garam yang tinggi, kombinasi yang jarang ada pada material membran lainnya.
- Membran selulosa asetat relatif mudah untuk manufacture.
- Bahan mentahnya merupakan sumber yang dapat diperbaharui ( renewable ).

### b. Selain itu membran selulosa asetat memiliki kerugian diantaranya :

- Memiliki range temperatur yang sempit yaitu kurang lebih 30 °C.
- Memiliki range pH yang cukup pendek.

- Resistensinya lemah terhadap klorin.
- Selulosa asetat sangat biodegradable, yaitu sangat rentan terhadap mikroba yang terdapat di alam.
- Selulosa asetat dapat mengalami creep atau fenomena pemadatan yang lebih besar dibanding dengan material lainnya.
- Selulosa asetat merupakan selulosa yang mengalami proses esterifikasi yang tidak sempurna dengan asam asetat.

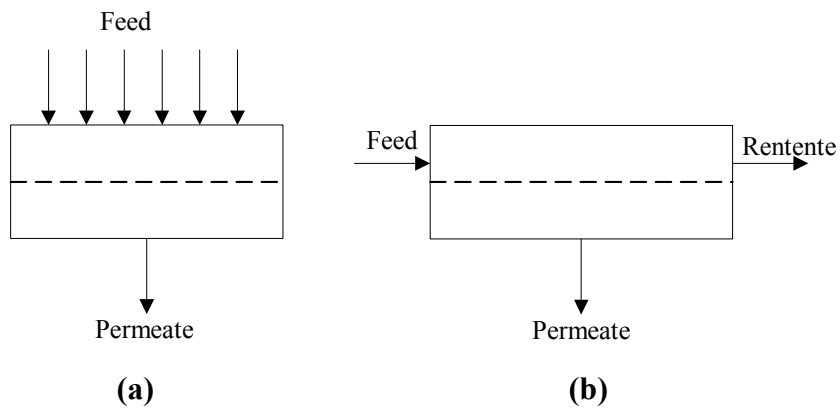
**c. Sifat – sifat selulosa asetat :**

1. Berbentuk serbuk berwarna putih
2. Merupakan resin termoplastik
3. Tidak beracun
4. Titik leleh = 260 °C
5. Specific gravity = 1,27 – 1,34
6. Larut dalam aseton, etil asetat, sikloheksanol, nitropropana dan etil diklorida.

**6. Mekanisme Pemisahan dengan Membran Ultrafiltrasi**

Mekanisme pemisahan dengan membran ultrafiltrasi (UF) harus mempertimbangkan sistem operasi yang akan dipergunakan pada konfigurasi modul tersebut. Dengan menyusun sistem baik menjadi rangkaian seri atau paralel yang disebut stage. Konfigurasi sistem yang mempunyai biaya termurah tidak selalu merupakan pilihan yang terbaik. Karena pilihan yang terbaik tergantung dari aplikasi dan fungsionalitas modul yang merupakan faktor terpenting.

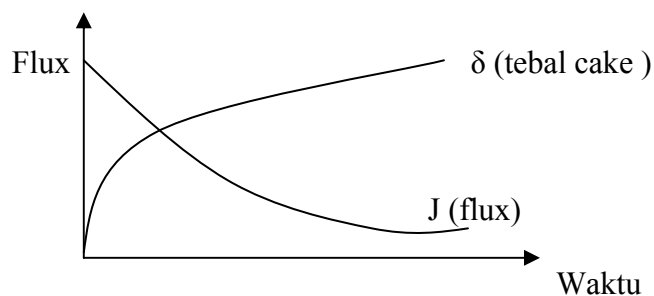
Desain sistem yang paling optimal diperoleh pada biaya produk yang terendah. Jenis sistem yang biasa dipergunakan adalah sistem dead-end dan sistem cross-flow. Perbedaan arah aliran pada kedua sistem dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



**Gambar 3.1 Desain sistem : (a) Sistem Dead-End, (b) Sistem Cross-flow (Wenten, 2001)**

#### **a. Sistem Dead-End**

Pada sistem operasi ini, arah aliran umpan yang digunakan tegak lurus terhadap membran. Sistem ini memiliki kelemahan karena sangat cepat sekali mengakibatkan *fouling* yang sangat tinggi, karena arah aliran yang demikian dapat mengakibatkan terbentuknya lapisan cake dipermukaan membran pada sisi umpan. Ketebalan cake terus meningkat terhadap waktu sehingga flux yang dihasilkan terus menurun hingga mencapai nilai nol dapat dilihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Penurunan Flux Pada Sistem Dead-end**

#### **b. Sistem Cross-Flow**

Sistem ini merupakan metode penyaringan yang berkembang dengan pesat untuk saat ini dalam aplikasi dimana sistem dead-end tidak sesuai untuk diterapkan : untuk filtrasi partikel yang sangat halus dan filtrasi suspensi encer tanpa penambahan flokulan atau filter-aid, dalam kasus dimana dibutuhkan filtrat dengan kemurnian tinggi, ketika recovery solid tidak terlalu dibutuhkan. Pada sistem ini,

umpan dialirkan dengan arah aksial (sejajar) dengan permukaan membran. Karena arah aliran tersebut, mengakibatkan terbentuknya cake yang terjadi sangat lambat karena tersapu oleh gaya geser yang disebabkan oleh aliran cross-flow.

Pada setiap operasi dengan menggunakan sistem ini, kecepatan aliran umpan sangat menentukan besarnya perpindahan massa dalam modul. Efisiensi pembersihan oleh cairan yang dialirkan meningkat dengan bertambahnya kecepatan.

## **7. APLIKASI MEMBRAN ULTRAFILTRASI**

### **7.a. Untuk memisahkan senyawa berberat molekul tinggi**

Ultrafiltrasi biasanya digunakan untuk memisahkan senyawa yang berberat molekul tinggi dari senyawa yang berberat molekul rendah, yang umumnya karakteristik membran tsb dinyatakan dalam *Molecular Weight Cut Off (MWCO)*, yaitu besarnya berat molekul yang dapat ditolak (95%-nya) oleh membran, bisa mencapai hingga 60.000. Contoh ; seperti pada industri farmasi, industri makanan, tekstil, industri kimia, metalurgi, industri kertas dan kulit.

Pada industri makanan contohnya ; untuk pemekatan susu, pembuatan keju, klarifikasi juice buah dan alkohol dll.

Pada bidang kedokteran contohnya ; untuk hemodialisis dan penghilangan virus pada darah.

### **7.b. Untuk memisahkan koloid, mikroba, padatan tersuspensi**

Untuk memisahkan koloid ; contohnya untuk memisahkan kotoran dari nira pada industri gula. untuk pralakuan pada pengolahan air laut dll.

## **8. Keunggulan proses Ultrafiltrasi**

Keunggulan dari proses ultrafiltrasi adalah :

**a.** Proses pemisahan hanya berdasarkan mekanisme penyaringan sehingga tidak terjadi perubahan fasa terlarut maupun zat terlarut.

**b.** Kebutuhan energi cukup kecil jika dibandingkan dengan metode pemisahan lain seperti evaporasi dan sentrifugasi.

**c.** Operasi dapat dilakukan pada temperatur suhu kamar dimana aktivitas biologis berada pada keadaan optimum dan terjadinya denaturasi, seperti yang terjadi pada protein dapat dicegah.

d. Ukuran partikel yang dipisahkan cukup besar sehingga tekanan yang diperlukan tidak terlalu tinggi sehingga biaya operasi dapat ditekan karena tidak memerlukan alat-alat tekanan tinggi dan kerja pompa tidak terlampau besar.

## 9. Kelemahan proses Ultrafiltrasi

Kelemahan pada proses ultrafiltrasi adalah :

### 9.a. *Fouling*

Salah satu masalah besar yang sering terjadi pada masalah ultrafiltrasi, khususnya ultrafiltrasi dengan umpan multi komponen, adalah *fouling*. *Fouling* adalah suatu fenomena yang disebabkan oleh deposisi dan akumulasi secara irreversible dari partikel – partikel submikron pada permukaan membran dan atau kristalisasi serta presipitasi dari partikel – partikel yang berukuran kecil pada permukaan atau di dalam membran – membran itu sendiri.



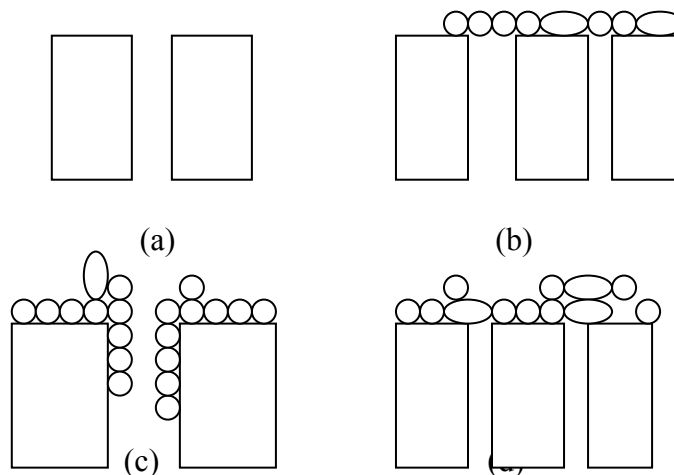
**Gambar 3.3 Fouling Pada Membran**

Nilsson, 1990, menyebutkan proses terjadinya *fouling* pada membran meliputi tiga tahap antara lain, tahap pertama, yang biasa disebut dengan polarisasi konsentrasi, adalah peningkatan lokal konsentrasi solut pada permukaan membran. Pada polarisasi konsentrasi ini, fluks mengalami penurunan karena adanya peningkatan pada tahanan hidrodinamika pada lapisan batas serta akibat kenaikan tekanan osmotik lokal. Polarisasi konsentrasi merupakan peristiwa yang dapat dibalikkan ( reversibel ), karena efeknya dapat dikurangi atau dihilangkan dengan menurunkan tekanan operasi atau menurunkan konsentrasi umpan. Tahap kedua terjadinya *fouling* adalah perpindahan solut dari permukaan membran ke dalam



material membran, dalam hal ini adalah pori – pori membran, hingga antara solut yang satu dengan yang lain benar – benar teradsorpsi atau melewati serangkaian langkah desorpsi atau adsorpsi yang reversibel dalam pori – pori membran. Tahap terakhir adalah proses adsorpsi solut pada pori membran sehingga terjadi pemblokiran ataupun penyempitan ukuran pori membran. Kedua tahap terakhir inilah yang disebut *fouling*, karena mengakibatkan penurunan fluks yang tidak dapat dibalikkan ( irreversibel ). Penurunan fluks *permeat* ini mungkin terjadi dalam satu atau lebih tahap, bergantung pada sistem, namun biasanya berlangsung cepat pada menit – menit awal operasi untuk kemudian diikuti dengan penurunan fluks secara perlahan.

Proses terjadinya *fouling* membran dan penurunan fluks yang diakibatkan oleh adanya *fouling* membran dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 3.4 (a) Complete pore blocking (b) Intermediate pore blocking (c) Internal pore blocking (d) Cake filtration**  
 ( Sumber : I. G. Wenten, 2001 )

**9.a.1 Mekanisme penyumbatan atau penyempitan pori membran pada peristiwa *fouling* ini dapat dibedakan menjadi empat macam seperti gambar 13, antara lain :**

#### **9.a.1.1 Complete pore blocking**

Jenis fouling seperti ini dapat terjadi jika ukuran partikel solut tepat menyumbat lingkaran pori membran sehingga pori membran tertutup total.

#### **9.a.1.2 Intermediate pore blocking**

Jika ukuran partikel – partikel solut lebih kecil dari partikel membran, maka akibat terakumulasinya partikel – partikel solut di permukaan membran, pori membran menjadi terlapisi oleh hamparan partikel – partikel tersebut.

#### **9.a.1.3. *Internal pore blocking***

Bentuk yang lain dari *fouling*, jika ukuran partikel solut lebih kecil dari ukuran diameter pori membran, adalah penyempitan ukuran pori membran akibat teradsorpsi atau terdeposisinya partikel – partikel disekeliling bagian dalam pori membran. Penyempitan diameter pori – pori efektif membran ini menyebabkan tahanan membran (  $R_m$  ) meningkat.

#### **9.a.1.4. *Cake filtration***

Fouling jenis ini terjadi jika ukuran – ukuran partikel – partikel solut sangat kecil dan memiliki sifat – sifat gel jika berada dalam keadaan terakumulasi. Cake filtration ini dapat meningkatkan tahanan hidraulik (  $R_g$  ) secara kontinyu.

### **9.a.2 *Fouling* menyebabkan terjadinya beberapa hal yang tidak menguntungkan antara lain :**

#### **9.a.2.1 Meningkatkan biaya operasi**

Untuk memulihkan penurunan fluks akibat *fouling* ini maka dibutuhkan biaya yang cukup besar. Biaya pengurangan *fouling* ini misalnya, untuk penyediaan agensia pembersih, perancangan alat – alat pengontrol *fouling*, dan sebagainya. Penurunan fluks ini juga menyebabkan ongkos pekerja yang dikeluarkan menjadi lebih tinggi karena waktu operasi menjadi lebih lama.

#### **9.a.2.2. Memperpendek umur membran**

Membran – membran generasi pertama seperti membran – membran selulosa astat yang memiliki keterbatasan pH, temperatur operasi, dan jangkauan toleransi terhadap klorin, sangat rentan terhadap agensia – agensia anti *fouling* maupun perlakuan – perlakuan untuk mengatasi fouling sehingga umurnya menjadi lebih pendek, sekalipun masalah ini telah berkurang pada penggunaan membran – membran generasi kedua ( membran – membran polimer seperti polysulfone ) dan secara praktis sangat berkurang pada penggunaan membran generasi ketiga (membran – membran keramik atau mineral).

#### **9.a.2.3. Mempengaruhi perolehan dan rejeksi**

Peningkatan konsentrasi solut pada permukaan membran menyebabkan peningkatan rejeksi dan lapisan *fouling* ini akan berfungsi sebagai membran sekunder yang akan mengubah mekanisme peristiwa perpindahan sistem. Dalam

operasi – operasi tertentu, dimana partikel–partikel solut yang teradsorpsi diinginkan berada di dalam *permeat*, maka perolehan menjadi turun sehingga kualitas pemisahan menjadi berkurang.

### **9.a.3 Teknik – Teknik Untuk Mengurangi *Fouling***

#### **9.a.3.1. Perawatan Awal Terhadap Larutan Umpan**

Johnson dan Tragardh ( 1989 ) menyebutkan bahwa kemampuan suatu larutan untuk menimbulkan *fouling* pada membran dapat dikurangi dengan menerapkan sejumlah metode perawatan/ pencegahan awal. Beberapa diantara upaya–upaya tersebut adalah :

##### **9.a.3.1.1 Perawatan mekanik**

Perawatan – perawatan mekanik ini sangat penting, khususnya bagi modul – modul ultrafiltrasi dengan *channel* sempit. Kemungkinan penyumbatan *channel* – *channel* aliran yang lebih besar terjadi pada untuk modul–modul membran *spiral*, *hollow fiber*, serta *plate and frame* dibandingkan modul ultrafiltrasi *tubular* karena *channel*nya relatif lebih sempit. Beberapa diantara usaha–usaha pencegahan mekanik ini adalah prefiltrasi dan sentrifugasi.

##### **9.a.3.1.2. Perawatan/ pencegahan termal awal**

Pencegahan termal ini seringkali digunakan untuk menghindari perubahan – perubahan yang tidak diinginkan, khususnya dalam pemrosesan material – material biologis yang sangat sensitif terhadap biodegradasi yang akan menyebabkan *fouling*. Sebagai contoh pH air dadih akan turun dengan cepat tanpa adanya perawatan panas awal yang memadai.

##### **9.a.3.1.3. Perawatan secara kimiawi**

Fenomena presipitasi, koagulasi, serta sifat –sifat adsorpsi solut pada larutan umpan sangat berhubungan pH serta konsentrasi garam dan partikel–partikel tersuspensi lainnya. Oleh karena itu pengaturan kondisi pH larutan serta penambahan zat–zat kimia sangat penting perannya dalam mencegah dan mengurangi *fouling*.

Pada ultrafiltrasi air dadih, dimana deposit – deposit mineral sering terjadi, perawatan kimia yang dilakukan adalah dengan menambahkan asam – asam tertentu ( seperti asam nitrat dan asam peroksida ) . Beberapa perawatan kimia lainnya yang sering dilakukan adalah penambahan EDTA ( agensia pengkompleksan ), karbon aktif ( adsorban ), klorinasi, serta klarifikasi kimia lainnya.

#### **9.a.3.1.4. Pemilihan Material Membran**

Seperti telah dijelaskan sebelumnya material membran sangat menentukan dalam pencegahan *fouling*. Berikut ini beberapa upaya yang disarankan oleh Mulder ( 1991 ) dalam pemilihan material membran :

- Penggunaan membran dengan distribusi ukuran pori yang sempit lebih dianjurkan karena kemampuannya untuk membentuk *fouling* cukup kecil.
- Secara umum materi teradsorpsi dengan kuat pada permukaan membran–membran hidrophobik. Oleh karena itu untuk mencegah terjadinya fouling lebih baik digunakan membran – membran hidrofilik.

#### **9.a.3.2 Penghilangan *fouling* dengan teknik pencucian**

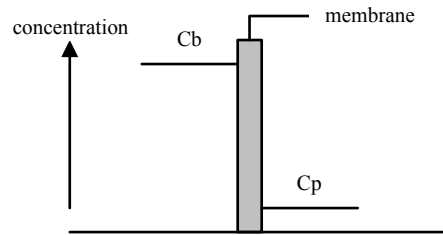
Teknik pencucian balik merupakan teknik yang paling umum digunakan dalam proses penghilangan zat pengotor (*fouling*) yang terakumulasi dipermukaan membran. Teknik pencucian balik pada umumnya dilakukan dalam 2 cara, yaitu :

- a. Pembilasan balik (*back flushing*) dengan menggunakan permeat
- b. Rangkaian pencucian yang terdiri dari penghembusan udara yang melalui membran dan membilasnya dengan larutan umpan.

#### **9.b. Polarisasi konsentrasi**

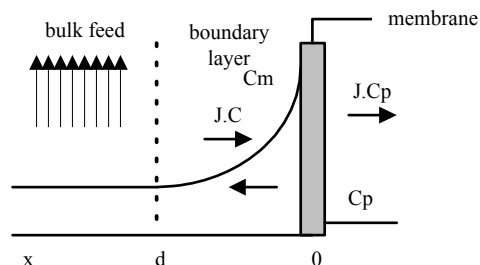
Proses pemisahan berbasis membran merupakan proses pemisahan dengan jalan menahan salah satu komponen dan melewatkan komponen lainnya. Pada proses membran dengan gaya dorong beda tekanan dengan larutan umpan yang berupa komponen zat terlarut dan pelarut, ketika gaya dorong bekerja pada sisi umpan maka beberapa bagian padatan terlarut akan tertahan pada sisi membran sedangkan pelarut akan lolos menembus membran. Hal ini menunjukkan bahwa membran yang kita gunakan mempunyai resistensi terhadap padatan. Sedangkan pelarut dapat lebih bebas menembus membran. Peristiwa ini lebih lanjut diindikasikan dengan konsentrasi permeat (  $C_p$  ) yang lebih rendah dibandingkan

dengan konsentrasi padatan ruah (  $C_b$  ) yang menjadi konsep dasar arahan dengan membran seperti terlihat pada gambar 3.5. seperti dibawah ini.



**Gambar 3.5 Pemisahan dengan membran**  
( Sumber : I. G. Wenten, 2001 )

Akumulasi partikel padatan yang tertahan pada permukaan membran akan meningkatkan konsentrasi padatan pada permukaan membran. Peningkatan konsentrasi ini akan menimbulkan aliran balik secara difusif menuju umpan tetapi setelah beberapa waktu kondisi tunak akan tercapai. Aliran konvektif padatan yang menuju ke permukaan membran akan sama dengan padatan yang menembus membran ditambah dengan aliran balik difusif menuju larutan umpan. Profil konsentrasi ini dapat dilihat pada lapisan batas ( *boundary layer* ) Gambar 3.6 dibawah ini :



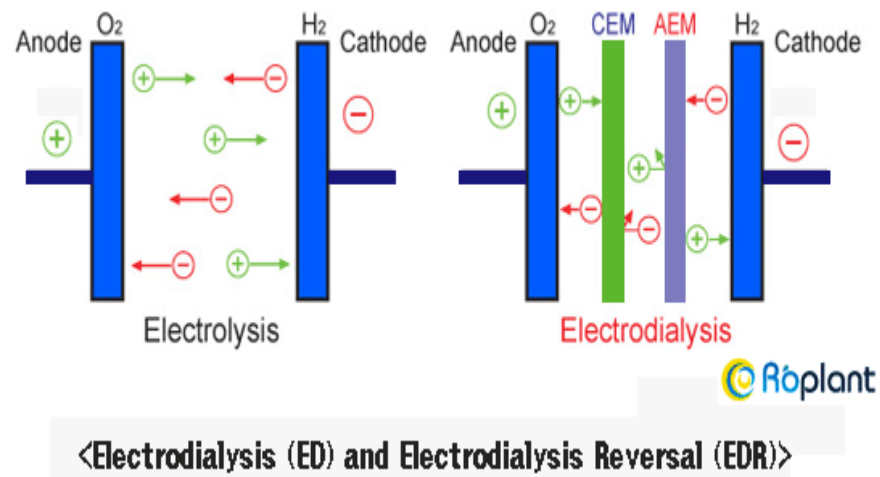
**Gambar 3.6 Profil Konsentrasi pada lapisan batas**  
( Sumber : I. G. Wenten, 2001 )

Polarisasi konsentrasi ini adalah peningkatan lokal konsentrasi solute pada permukaan membran. Polarisasi konsentrasi merupakan peristiwa yang dapat dibalikkan (reversible), karena efeknya dapat dikurangi atau dihilangkan dengan menurunkan tekanan operasi atau menurunkan konsentrasi umpan.

### 3.1.3 Elektrodialisis

Elektrodialisis (ED) adalah proses pemisahan secara elektrokimia dengan ion-ion berpindah melintasi membran selektif anion dan kation dari larutan encer ke larutan yang lebih pekat akibat aliran arus listrik searah. Arus listrik searah atau DC dapat diperoleh dari arus AC menjadi DC menggunakan suatu konverter.

Perbedaan antara elektrolisis dan elektrodialisis dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

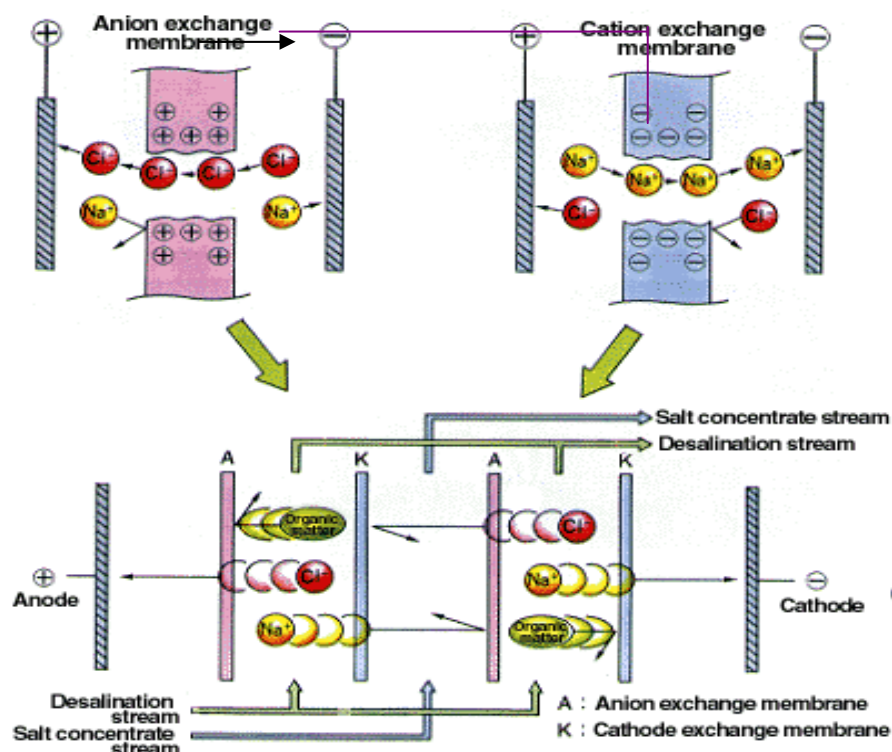


**Gambar 3.7 Perbandingan antara Proses Elektrolisis dan Elektrodialisis**

### 3.1.3.1 Prinsip dasar Proses Elektrodialisis.

Prinsip proses ini adalah pemisahan ion dari larutan normal dan pengurangan mineral-mineralnya dengan menggunakan membran bermuatan dan arus listrik yang diperlukan sebagai gaya dorongnya. Membran yang dipergunakan bersifat selektif atau permeabel terhadap anion maupun kation.

Suatu unit Elektrodialisis terdiri dari dua buah elektrode, yang terdiri dari anode (bermuatan positif) dan katode (bermuatan negatif), membran penukar anion yang meloloskan ion-ion bermuatan negatif dan menahan ion-ion bermuatan positif, dan membran penukar kation yang meloloskan ion-ion bermuatan positif dan menahan ion-ion bermuatan negatif. membran penukar ion disusun bergantian (selang-seling) seperti gambar berikut (Gambar 3.8).



**Gambar 3.8 Sel Elektrodialisis**  
(Aciplex membrane electrodialysis, 2003)

Pada gambar terlihat bahwa sistem diatas terbagi menjadi tiga kompartemen, dan larutan umpan akan masuk melewati dua kompartemen disampingnya dan konsentrat akan masuk pada kompartemen di bagian tengah. Kompartemen adalah celah antara membran penukar ion yang satu dengan membran penukar ion yang lainnya.

Air garam dipompa pada dari bagian bawah alat elektrodialisis, membran antar ruang berselang seling permabel bagi ion positif dan permabel bagi ion negatif. Bila arus searah (DC) dilewatkan larutan, ion-ion dapat bergerak menembus membran menuju elektrode yang muatannya berlawanan yang akan mengurangi garam dalam ruang tengah, dan keluar terdiri dari produk atau disebut diluat dan larutan dengan kandungan garam pekat disebut konsentrat, sedangkan air mengalir searah dengan arah aliran, sehingga pada proses elektrodialisis, membran penukar ion juga berfungsi mencegah ion-ion agar tidak mengotori air murni yang telah diperoleh.

Pada elektrode akan terjadi peristiwa elektrolisa. Reaksi yang terjadi pada anode dan katode adalah sebagai berikut :

dalam bilik katode air mengalami reduksi menghasilkan hidrogen dan ion hidroksida,



dalam bilik anode, air dioksidasi menjadi oksigen dan ion hidrogen,



dan pada anode dapat pula terbentuk gas khlor :



### 3.1.3.2 Aplikasi proses Elektrodialisis

Beberapa aplikasi proses ED menurut Lacey dan Loeb (1972), Leitz dan Eisenman (1981), Mani (1991), Katz (1982) dan Hughes, Raubenheimer dan Viljoen (1992) (Schoeman, 1996) adalah sebagai berikut :

1. Desalinasi air payau
2. Pemekatan air laut
3. Desalinasi air laut
4. Demineralisasi air dadih (*whey*)
5. Recovery metal dan air dari air pencuci *electroplating*
6. Desalinasi pendingin tower
7. Recovery asam dan basa dari buangan pengasaman asam
8. Demineralisasi larutan anggur
9. Demineralisasi larutan gula

Menurut Belfort (1984) senyawa yang mengandung partikel ukuran kecil (0,0004 - 0,1)  $\mu\text{m}$  dapat dipisahkan dengan menggunakan ED. Beberapa tipe kontaminan yang dapat dihilangkan dari air dan air buangan dengan menggunakan ED seperti tercantum pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Beberapa kontaminan yang dapat di hilangkan dari air dan air buangan dengan ED**



|           | Jenis     | Kontaminan |          |
|-----------|-----------|------------|----------|
| Sodium    | Nickel    | Khlorida   | Fluorida |
| Potasium  | Chromium  | Sulfat     | Chromat  |
| Calsium   | Copper    | Nitrat     | Acetat   |
| Magnesium | Zinc      | Phospat    | Hydroxil |
| Ammonium  | Strontium | Cyanida    | TDS      |
| Arsenik   | Besi      | Perak      |          |
|           | Alumunium |            |          |

(Schoeman, 1996)

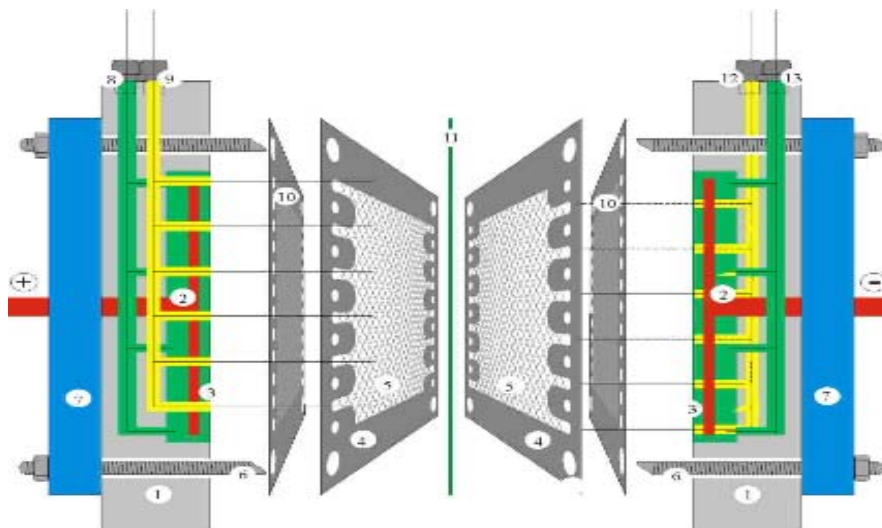
### 3.1.3.3 Modul Membran dan seleksi membran

Untuk dapat mengaplikasikan membran di dalam skala teknik, umumnya diinginkan membran dengan permukaan yang cukup luas, hal ini dapat diakomodir dengan mengemas membran di dalam suatu unit yang biasanya disebut **modul**.

#### 1. Konfigurasi modul

Bentuk konfigurasi modul yang umum digunakan pada proses ED adalah bentuk filter press dan unit-sel..

#### 2. Komponen modul



**Gambar 3.9 Stack ( Jejeran membran Elektrodialisis)**

**Keterangan gambar :**

1. Plate

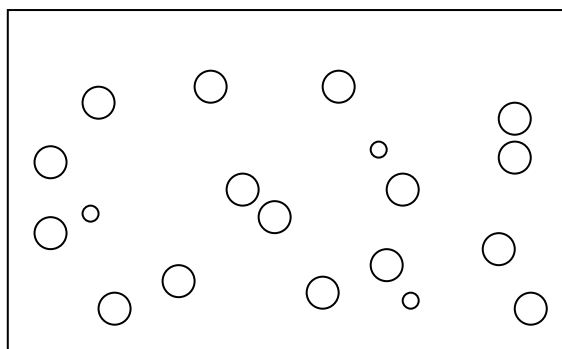
8. Aliran masuk anode

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| 2. Elektrode             | 9. Aliran masuk Konsentrat |
| 3. Kompartemen elektrode | 10. Membran kation         |
| 4. Bingkai Spacer        | 11. Membran anion          |
| 5. Spacer                | 12. Aliran masuk diluat    |
| 6. Sekrup                | 13. Aliran masuk katode    |
| 7. Bingkai baja (Steel)  |                            |

Modul atau stack sel suatu ED terdiri dari pasangan sel membran, membran kation, membran anion, suatu spacer (pengatur jarak) aliran diluat, suatu spacer aliran konsentrat, dua elektrode dan kompartemen elektrode. Biasanya pipa-pipa dibuat sesuai dengan lubang-lubang pada frame spacer, gasket dan frame akhir. Setiap frame spacer dilengkapi dengan pipa saluran larutan.

### 3. Membran Elektrodialisis

Membran ED adalah penghantar listrik dan tidak tembus air dan merupakan resin yang dibentuk sebagai lembaran, yang dapat selektif anion atau kation. Semenjak polimer penukar ion dapat larut dalam air, maka diperlukan suatu *crosslinking* untuk mencegah pelarutan dari membran penukar ion. Biasanya *crosslinking* yang dipergunakan adalah divinylbenzene, dan gambar diagram membran penukar ion tersebut dapat dilihat pada gambar 18. Membran ED terdiri dari membran penukar anion dan membran penukar kation. Membran penukar anion berisi kation sehingga bertindak sebagai *barrier* (pembatas) bagi kation, dan membran penukar kation berisi anion bersifat sebagai *barrier* (pembatas) bagi anion. Bentuk keduanya dapat dilihat pada gambar 3.10 dan 3.11.

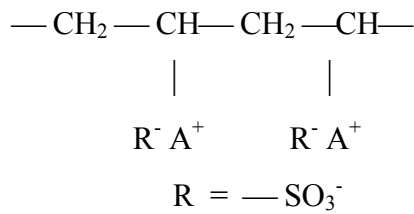


**Gambar 3.10 Diagram dari struktur membran penukar kation**  
(Porter, 1990)

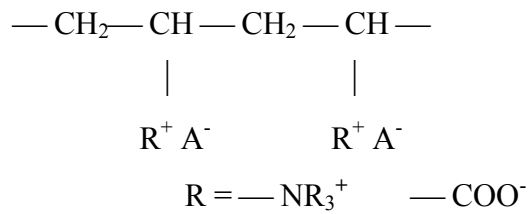
- Matrix dengan muatan tetap  
○ Counter-ion

○ Co-ion

**Penukar kation**



**Penukar anion**



**Gambar 3.11 Skematik membran penukar ion**  
(Mulder, 1991)

Aliran arus listrik searah hanya oleh gerakan ion dari fase satu ke yang lainnya, sesuai hal tersebut, membran penukar anion melakukan migrasi hanya dari ion negatif dan membran penukar kation melakukan migrasi hanya dari ion positif. Membran-membran tersebut juga dapat kotor karena deposit dari endapan yang harus diambil secara mekanik. Membran-membran yang tersedia saat ini diharapkan mempunyai sifat selektivitas baik dengan tahanan rendah, kekuatan fisik yang tinggi, dan waktu pemakaian cukup lama.

Ada dua bentuk umum yang tersedia secara komersil dari membran penukar ion yaitu, heterogen dan homogen, biasanya yang tersedia di pasaran adalah yang homogen. Pada membran homogen, bagian-bagiannya terdistribusi secara merata melalui membran. Sifat membran homogen yang menguntungkan adalah, tahanan listriknya rendah dan kekuatan mekaniknya tinggi. Pada membran heterogen, bagian-bagiannya terdistribusi seperti titik-titik yang berbeda dalam membran, sehingga membran heterogen merupakan membran dengan tahanan listrik tinggi dan kekuatan mekanik rendah. Secara umum, stabilitas kimia dari membran penukar ion adalah sesuai dengan resin penukar ion.

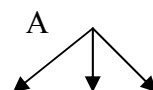
Banyak cara untuk memproduksi material membran yang cocok dan banyak tipe yang berbeda di pasaran, range ketebalan sekitar (0,15 - 0,56) mm. Suatu ukuran membran buatan Jepang mempunyai ukuran (100 x 100) cm dan buatan Amerika (46 x 102) cm (Shoeman, 1996).

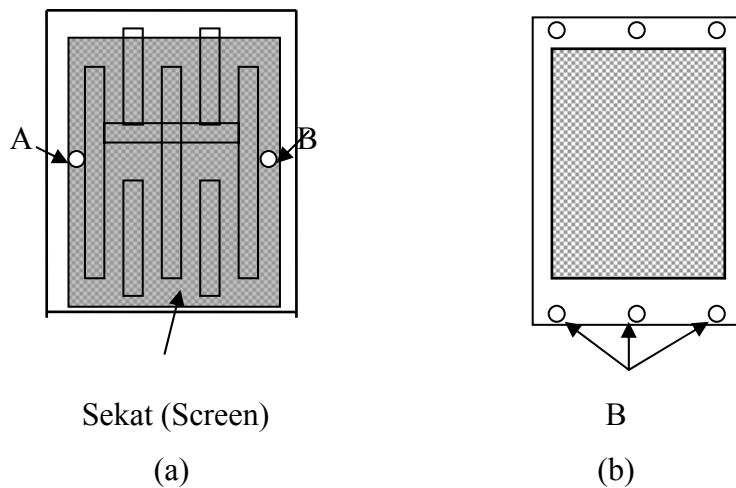
Karakteristik membran ED yang disenangi adalah (Strathman, 1992) :

1. Selektivitas yang tinggi : Suatu membran penukar ion seharusnya mempunyai sifat permeabel yang tinggi terhadap ion yang berlawanan, tetapi harus mempunyai sifat tidak permeabel terhadap ion bermuatan sama.
2. Tahanan listrik rendah : Sifat permeabilitas suatu membran penukar ion untuk ion yang berlawanan muatannya pada keadaan gaya dorongnya untuk suatu gradient potensial listrik setinggi mungkin.
3. Kekuatan mekanik tinggi dan mempunyai bentuk stabil : Suatu membran penukar ion harusnya mempunyai sifat mekanik yang kuat dan mempunyai derajat pengelembungan rendah.
4. Stabilitas kimianya tinggi : Membran penukar ion seharusnya stabil pada kisaran pH (0 - 14) pada kehadiran oksidator.

#### 4. Spacer

Spacer (pengatur jarak) berfungsi untuk memisahkan letak kedua membran dan sebagai penguat kedudukan membran, selain itu juga untuk mengatur kontrol larutan feed, karena itu spacer dilengkapi dengan lubang dan saluran untuk lewat aliran dan sekat (screen). Sekat pada spacer berfungsi untuk menjaga agar campuran larutan pada permukaan membran dapat maksimum dan diharapkan hilang tekan dapat seminim mungkin. Spacer biasanya terbuat dari plastik, tidak menghantar arus listrik sedangkan cairan pada port (lubang saluran) dan koneksi-koneksinya barlarutan garam merupakan penghantar arus listrik. Karena sel amat tipis, port juga kecil-kecil. Ada dua bentuk konfigurasi spacer terdiri dari ; berliku dan berlapis, seperti terlihat pada gambar 3.12, yang umum dipergunakan.





**Gambar 3.12 Dua bentuk Spacer (a) berliku (b) berlapis**  
(Schoeman, 1996)

Untuk spacer berliku, membran dan gasket mempunyai suatu dinding yang berliku cukup panjang, dengan tempat saluran sempit panjang untuk aliran fluida. Hal ini akan memberikan waktu *residen time* cukup lama untuk larutan yang lewat pada setiap sel.

Pada tipe berlapis, saluran aliran dibuat 180<sup>0</sup> berlawanan antara sisi ke luar dan masuk dan diletakkan ditengah-tengah spacer. Pada setiap spacer aliran feed masuk melalui A mengikuti pola aliran dan ke luar melalui B.

## 5. Elektrode

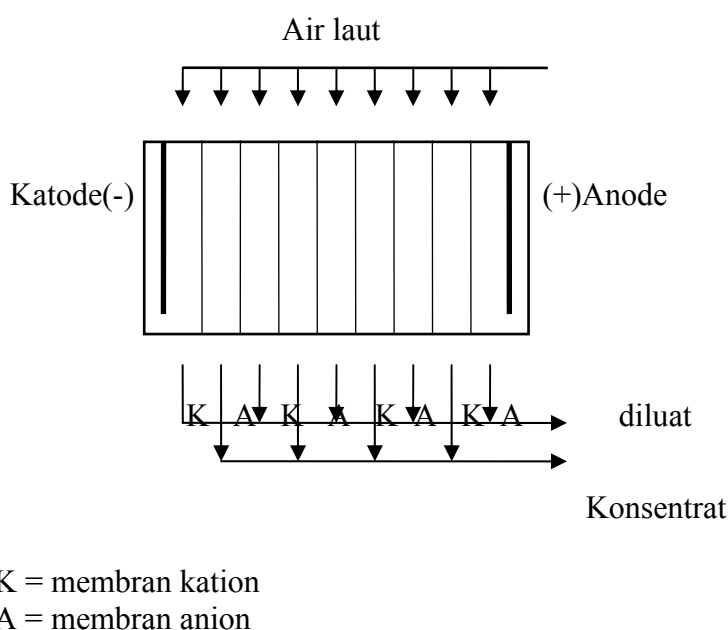
Sepasang electrode dibutuhkan untuk setiap tahapan listrik ED, normalnya tidak lebih dari dua tahapan listrik untuk setiap satu stack membran, sebaliknya sepasang electrode sebaiknya hanya untuk satu tahapan listrik. Elektrode adalah yang paling banyak dikenai keadaan korosi, karenanya elektrode harus terbuat dari logam mulia, biasanya terbuat dari tantalum, niobium, titanium dilapis platina. Katode menghasilkan gas Hidrogen dan Soda kaustik, jadi harus pada sistem aliran terpisah dan terbuat dari stainless stell. Anode menghasilkan gas khlor dan terjadi reaksi oksidasi sehingga sebaiknya anode terbuat dari platina atau dilapis titanium. Untuk mencegah terjadinya padatan akibat reaksi antara gas dan lapisan electrode, maka sebaiknya dilakukan pembilasan electrode dengan menggunakan asam. Disarankan oleh Meller, (Schoeman, 1991) asam yang dipergunakan jangan yang mempunyai pH ekstrim dan bukan asam kuat karena akan menambah terjadinya

reaksi pada electrode. Berdasarkan penelitian yang dilakukan di ITB, maka asam Sitrat adalah yang terbaik digunakan sebagai pencuci electrode.

## 6. Stack (jejeran membran)

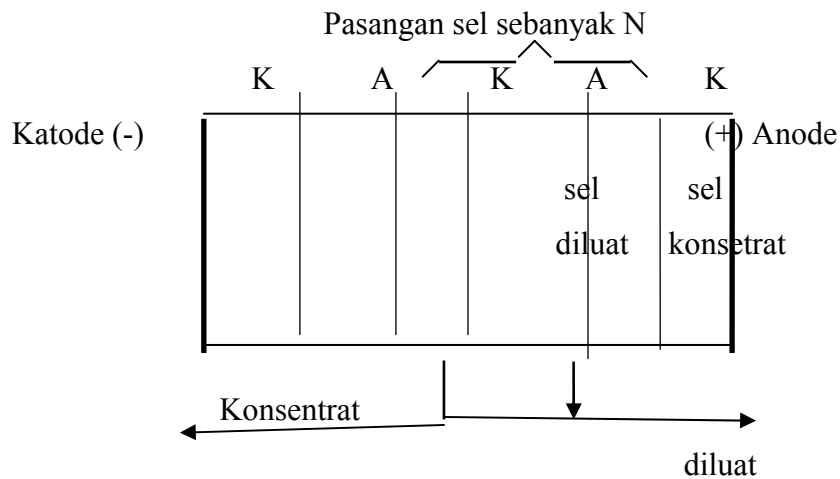
Ada dua bentuk konfigurasi stack atau jejeran membran yaitu filter press dan unit sel.

**a.** Disain bentuk filter press sesuai dengan tahanan lembaran/tumpukan membran ED terdiri dari plate dan frame, lembaran-lembaran membran masing-masing dipisahkan dengan lembaran plastik sebagai penyekat. Penyekat (gasket-gasket pembatas) tidak menghantar kan arus listrik, sedangkan cairan pada lubang-lubang dan koneksi-koneksinya berlarutan garam merupakan suatu penghantar. Tumpukan membran ED karena lingkungan korosif, maka bahan penguatnya harus terbuat dari komponen plastik atau karet, yang dapat stabil terhadap gangguan mekanis, panas, kimia dan listrik. Lubang ke luar masuknya harus kuat, bentuknya pun didisain agar tidak mudah tersumbat.



**Gambar 3.13 Konfigurasi Filter Press (plate dan frame)**  
( Hartomo, 1994 )

**b.** Untuk disain bentuk sel, setiap sel konsentrat terdiri dari sepasang membran penukar kation dan membran penukar ion yang ditutup pada bagian tepinya, setiap sel bisa berisi (50 - 100) pasang membran, biasanya bentuk seperti ini dipergunakan untuk membuat garam pekat dari air laut.



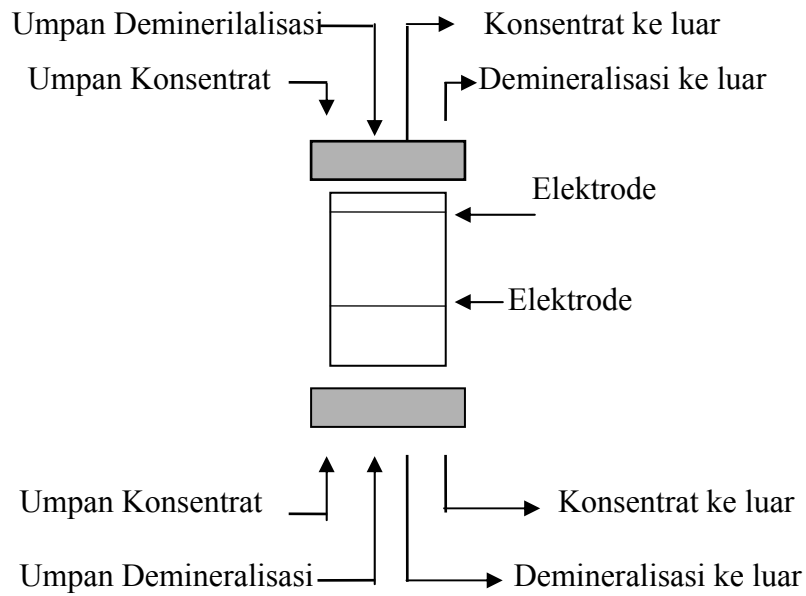
K=membran kation  
A =membran anion

**Gambar 3.14 Konfigurasi tipe sel**  
(Hartomo, 1994)

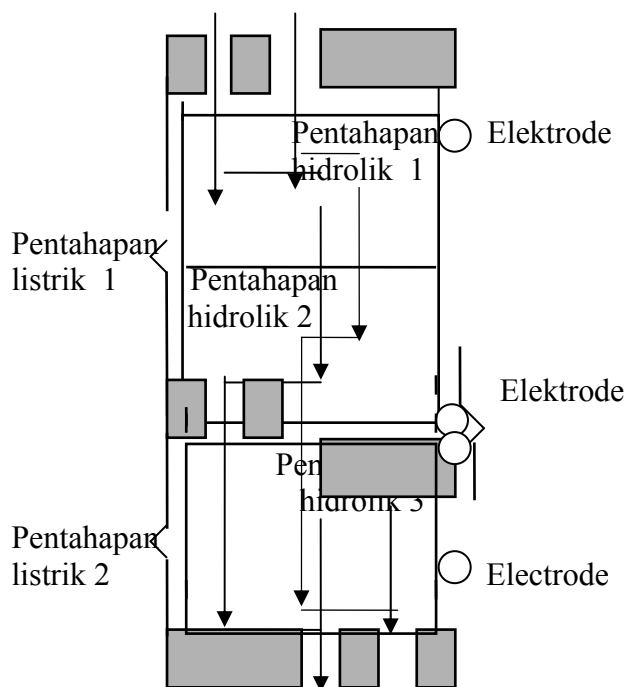
#### 3.1.3.4 Pentahapan

Cara penataan stack menentukan pentahapan. Pentahapan diperlukan untuk memperoleh luas membran dan waktu retensi memadai bagi jumlah garam yang dikerjakan. Pentahapan dapat hidrolis atau listrik.

Pentahapan hidrolis dengan lintasan berulang antara elektrode, diinginkan agar demineralisasi yang diperoleh lebih tinggi (40 - 50) % tiap tahap. Pentahapan listrik dengan penambahan pasangan elektrode ke stack membran dimaksudkan untuk optimisasi sistem DC nya. Biasanya dengan penggabungan keduanya akan membuat mudah sistemnya dan laju penghilangan garam maksimum, membatasi masalah polarisasi dan tekanan hidrolisnya. Contoh pentahapan hidrolis dan pentahapan listrik dapat dilihat pada gambar 3.15 dan 3.16



**Gambar 3.15 Satu pentahapan : Satu pentahapan hidrolis dan satu pentahapan listrik**  
(Schoeman, 1996)



**Gambar 3.16 Dua pentahapan listrik dan tiga pentahapan hidrolis**  
(Schoeman, 1996)

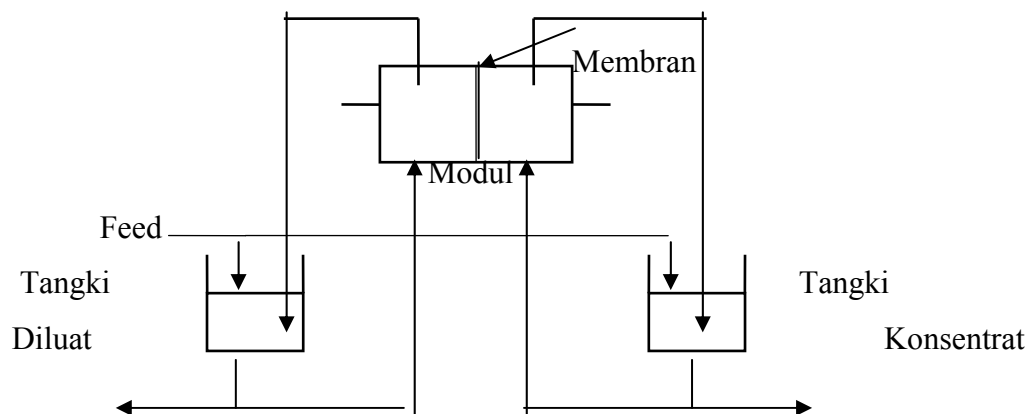


### 3.1.3.5 Model operasional proses Elektrodialisis

Ada tiga bentuk operasional proses ED yaitu : batch, feed and bleed dan kontinu, dan dapat dijabarkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing bentuk tersebut pada table 3.5.

#### 1. Proses *Batch*

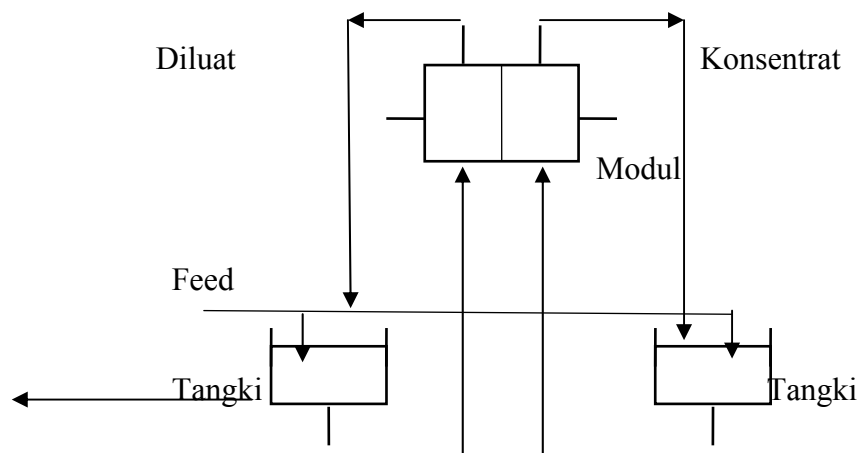
Proses ED yang dikembangkan pertamakali secara komersil adalah bentuk proses *batch* (Meller, 1984). Pada sistem *batch*, feed disirkulasi dari tangki penampung melewati spacer demineralisasi suatu stack tunggal hingga hasil yang diinginkan.



**Gambar 3.17 Proses *Batch***  
(Rautenbach, 1989)

#### 2. Proses *feed and bleed*

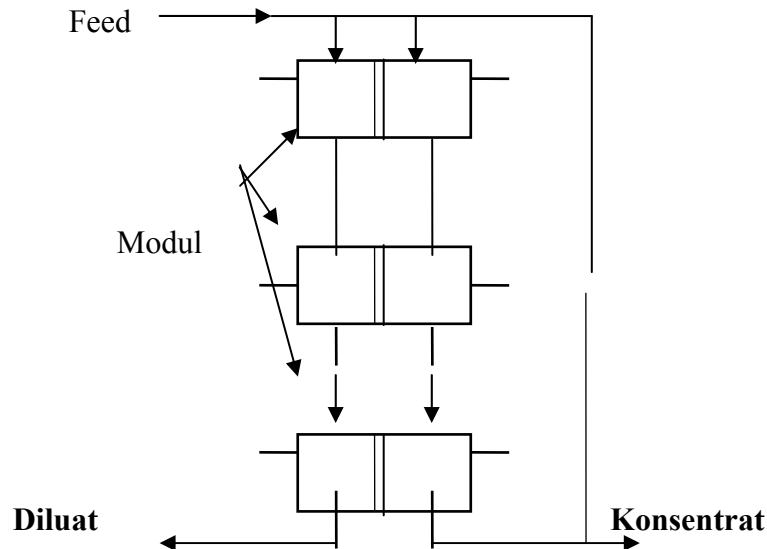
Sistem *feed and bleed* digunakan bila variasi besar pada konsentrasi dari larutan feed berlawanan dan aliran kontinu produk yang diinginkan. Pada sistem ini, suatu bagian dari larutan produk diresirkulasi dan dicampur dengan larutan feed. Larutan campuran ini menjadi feed sesungguhnya. Laju produksi adalah bagian dari aliran produk yang dikeluarkan dari sistem dan tidak disirkulasi kembali ke stack.



**Gambar 3.18 Proses *feed and bleed***

### 3. Proses kontinu

Pada sistem kontinu, aliran diluat membuat suatu lintasan tunggal melewati stack dan ke luar berupa produk. Aliran konsentrat secara partial diresirkulasi untuk mengurangi kandungannya



**Gambar 3.19 Proses kontinu**  
(Schoeman, 1996)

**Tabel 3.5 Kelebihan dan kekurangan model operasional proses ED**

| Model operasional            | Kelebihan   | Kekurangan   |
|------------------------------|---|--|
| Proses <i>Batch</i>          | -Laju demineralisasi tinggi<br>-Bebas fluktuasi pada komposisi feed   | Disain cukup kompleks berkaitan dengan feed dan produk   |
| Proses <i>feed and bleed</i> | -Produksi kontinu<br>-Mudah adaptasi terhadap fluktuasi laju alir dan komposisi<br>-Kecepatan demineralisasi tinggi | -Kecepatan tinggi dari resirkulasi<br>-Konsumsi energi spesifik tinggi<br>-Disain komplek terhadap perpipaan                         |
| Proses Kontinu               | -Konsumsi energi spesifik minimal<br>-Disain sederhana terhadap perpipaan dan kontrol                               | -Adaptasi terhadap fluktuasi buruk pada laju aliran feed dan komposisi<br>-Laju demineralisasi dan laju aliran saling ketergantungan |

### 3.1.3.6 Polarisasi konsentrasi dan *fouling*

Ketidak efektifan suatu membran adalah karena adanya gangguan pada permukaan membran yang dapat mengakibatkan berkurangnya transport ion pada membran. Gangguan tersebut dapat berupa polarisasi konsentrasi dan *fouling*.

#### 1. Polarisasi Konsentrasi

Salah satu masalah pada ED adalah terjadinya polarisasi konsentrasi yang akan mengurangi efisiensi proses pemisahan. Pada polarisasi konsentrasi, larutan dipermukaan membran kehilangan elektrolit (ion) sehingga menyebabkan tahanan meningkat terhadap rapat arus. Polarisasi juga dapat menyebabkan efisiensi arus merosot, konsumsi energi meningkat dan perpindahan ion yang dikehendaki menurun (di daerah polarisasi tersebut). Cara mengatasinya antara lain adalah ; (a) dengan menggunakan arus batas ( $i_{lim}$ ) yaitu arus yang cukup dipergunakan untuk mentransfer seluruh ion yang ada, sehingga penggunaan arus tidak berlebih, (b) dengan mengatur system hidrodinamika.

Tebal film dikurangi dengan memperbesar angka Reynold yaitu memperbesar kecepatan cairan, tapi cara tersebut dapat mempertinggi hilang tekan. Sel diusahakan setipis mungkin, agar tahanannya mengecil, tetapi hal ini akan mengurangi bilangan Reynold dan mempertinggi hilang tekan. Jadi untuk menghindari polarisasi, disain alat sangat berpengaruh sekali.

Polarisasi konsentrasi dapat dikontrol juga secara berkala dengan sirkulasi larutan umpan pada kecepatan tinggi melalui ruangan sel, namun usaha untuk mempertahankan aliran yang sangat trubulen dalam sel tidak sepenuhnya berhasil karena secara signifikan polarisasi konsentrasi tidak dapat dihindari.

#### 2. *Fouling*

*Fouling* dapat mempengaruhi semua tipe alat dan membran. *Fouling* dapat terjadi karena air yang dipergunakan mengandung partikel tersuspensi antara lain ion organik dan anorganik penyebab penyumbatan (asam humat, atau air tercemar deterjen, senyawa biologi, hidoksid metal ) maka ion-ion itu bergerak ke membran, tinggal di daerah elektropositifnya. Karena melekat, dapat merusak daya hantar setempat. Membran yang mengalami penyumbatan ditandai oleh merosotnya produktivitas, peningkatan  $\Delta p$  modulnya atau lolosnya garam. Fenomena *fouling*

adalah sangat kompleks dan sulit untuk dijabarkan secara teori, tetapi dengan adanya *fouling* akan menyebabkan menurunnya fluks. Penurunan fluks terhadap waktu merupakan masalah operasional yang serius, hal ini umum terjadi pada sebagian proses membran. Pengukuran *fouling* dapat dilakukan dengan beberapa test *fouling* antara lain ; (a) test pengendapan (*silting test*, SI), (b) index penyumbatan (*plugging index*, PI), (c) index *fouling* (FI), (d) index filtrasi membran (*membrane filtration index*, MFI).

Pengurangan *fouling* pada proses ED dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan penyebab *fouling* pada umpan yaitu antara lain : dengan memberi perlakuan awal, melakukan balikan kutub listrik pada selang waktu tertentu yang disebut, EDR ( Elektrodialisis Reversal) dan melakukan pembersihan permukaan membran atau disebut CIP (*Cleaning in Place*). Perlakuan awal yang disarankan oleh Strohwalde dkk untuk pengolahan air laut adalah dengan menggunakan UF (Ultrafiltrasi), dan proses EDR sebaiknya dilakukan tiga kali setiap jamnya (Drioli E, 1990).

Perlakuan awal perlu dilakukan pada air umpan untuk menghilangkan kekeruhan atau padatan tersuspensi, mengontrol pH air umpan, mengurangi kecenderungan terbentuknya kerak pada membran, mencegah pertumbuhan lendir karena mikroorganisme, dan menghilangkan zat teremulsi atau zat organik lainnya. Tingkat perlakuan awal berbeda-beda tergantung pada kualitas air umpan dan tipe membran yang digunakan. Metode perlakuan awal yang umum dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut

Regenerasi (pencucian) membran yang bisa juga disebut CIP, dalam tahap ini akan dilihat kestabilan kinerja modul ED setelah dilakukan beberap kali regenerasi. Regenerasi antara lain dilakukan dengan membersihkan membran, yaitu untuk menghilangkan endapan yang ada pada permukaan membran. Sistem pembersihan membran yang lain yaitu, dengan melakukan EDR, dan pembongkaran peralatan.

**Tabel 3.6 Komponen yang ada dalam air umpan, masalah dan metode perlakuan awal**

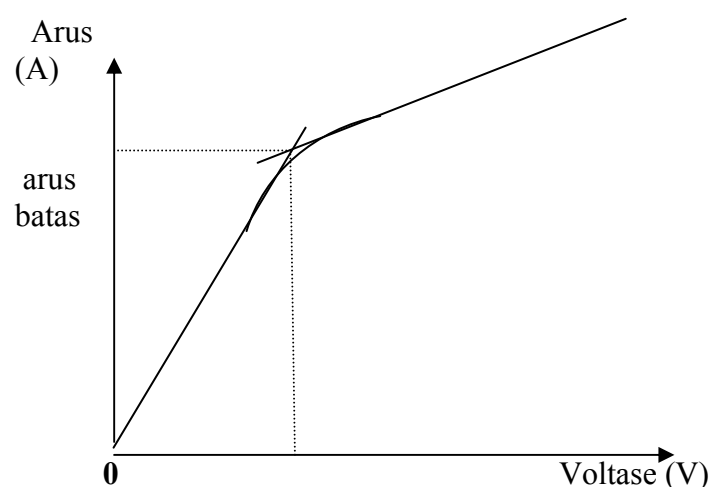
| Komponen  | Masalah   | Metode Perlakuan Awal  |
|---|---|--|
| Padatan tak larut   | Fouling pada membran yang dapat menurunkan fluks  | Filtrasi pasir<br>Filtrasi multimedia<br>Filtrasi koagulasi<br>Ultrafiltrasi   |
| Persipitasi/pembentukan kerak oleh :<br>$\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3, \text{CaSO}_4, \text{SiO}_2, \text{BaSO}_4, \text{SrSO}_4,$<br><br>$\text{CaF}_2$ , hidroksi logam | Fouling membran karena presipitasi atau kerak yang dapat menurunkan fluks.  | Beroperasi pada <i>recovery</i> air yang rendah (sehingga kelarutannya tidak terlampaui)<br>Penambahan asam atau <i>chelating agent</i> untuk mencegah presipitasi.<br>Penambahan zat anti pengerakan, misal SHMP<br>Filtrasi pasir untuk mengambil $\text{SiO}_2$ |
| Koloid (tanah liat, besi, $\text{Al}(\text{OH})_3$ )  | Fouling pada membran yang menurunkan fluks  | Koagulasi diikuti oleh filtrasi  |
| Mikroorganisme  | Lapisan pengotor pada membran yang menyebabkan penurunan fluks, beberapa membran dapat terdegradasi oleh mikroorganisme                     | Khlorinasi ( <i>shock treatment</i> atau penambahan kontinu).<br>Penambahan Natrium bisulfit ( <i>shock treatment</i> atau   |
| Khlorin   | khlorin yang ditambahkan untuk disinfektan dapat merusak sebagian besar membran   | Penambahan natrium bisulfir<br>Filter karbon aktif   |
| Hidrogen Sulfida  | Tidak terambil oleh membran   | Oksidasi terhadap Sulfat<br><i>Air stripping</i>   |
| Zat Organik   | Adsorpsi pada membran dapat menyebabkan penurunan fluks air senyawa organik dengan berat molekul tinggi dapat terkoagulasi membentuk koloid | Karbon aktif<br>Penggantian penggunaan polimer kationik (koagulan), yang menyebabkan pembentukan koloid organik  |
| Oksigen terlarut  | Oksigen dapat merusak beberapa tipe membran, oksigen dapat menyebabkan masalah korosi   | Penambahan Natrium bisulfit<br>Deaerasi vakum  |
| Tingkat keasaman (pH)   | Seharusnya berada dalam rentang operasi membran   | Disesuaikan dengan asam ( $\text{HCl}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) atau basa ( $\text{NaOH}$ )   |

(Nur Rahayu, 1999)

### 3.1.3.7 Penentuan arus batas

Arus batas perlu dicari pada saat proses desalinasi akan dimulai yaitu dengan cara eksperimen, untuk menghindari terjadinya arus yang berlebih yang akan menyebabkan air terdisosiasi menjadi  $H^+$  dan  $OH^-$  akan memberi masalah seperti terbentuknya kerak dan kerusakan membran serta boros dalam pemakaian energi listrik. Adanya arus listrik yang melewati membran penukar ion ketika dialiri larutan elektrolit, menyebabkan konsentrasi larutan elektrolit menurun pada lapisan batas permukaan membran disisi aliran diluat. Pada kondisi saat arus batas akan tercapai, konsentrasi larutan elektrolit pada permukaan membran bagian diluat mendekati nol didaerah interface larutan/membran. Dalam pengoperasiannya, arus listrik dijaga kurang dari nilai arus batasnya (sekitar 70 – 80%).

Penentuan arus batas secara eksperiment adalah dengan memplot arus listrik vs voltase untuk setiap kenaikan selang waktu tertentu. Kurva tersebut digunakan untuk mengukur arus yang melewati tiap stack membran sebagai fungsi dari voltase yang digunakan, garis singgung yang diperoleh pada keadaan kenaikan yang konstan adalah besarnya arus batas dan voltage batas.

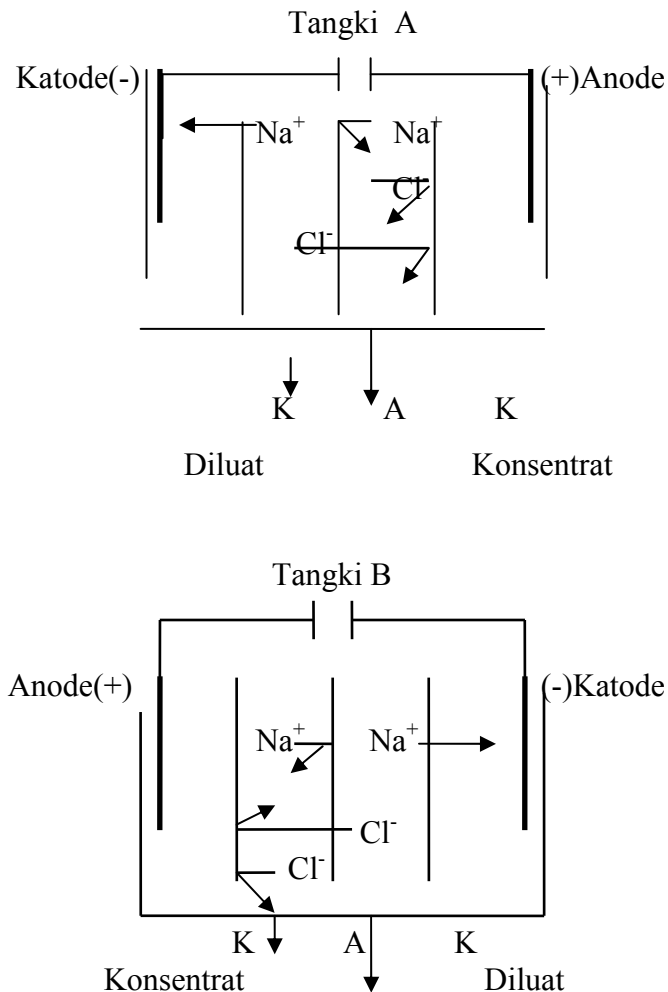


**Gambar 3.20 Kurva hubungan antara arus listrik dan voltase (Schoeman, 1996)**

### 3.1.3.8 Elektrodialisis Reversal (EDR)

EDR adalah bagian dari ED yaitu suatu proses pembalikan kutub listrik. Sistem EDR didisain untuk mengurangi penyumbatan pada membran akibat tertahannya ion secara kontinu tanpa adanya penambahan bahan kimia yang akan mengeliminasi masalah-masalah utama secara tidak langsung. Sistem ED ini

menggunakan pembalikan polaritas listrik untuk secara kontinu mengontrol terjadinya fouling dan endapan pada membran.



**Gambar 3.21 Proses EDR**  
(Schoeman, 1996)

Pada sistem EDR, polaritas dari elektrode dibalik tiga atau empat kali setiap jamnya, tujuan dari EDR ini adalah untuk menghilangkan endapan yang menumpuk pada permukaan membran. Endapan tersebut akan larut kembali sehingga fouling dapat dihilangkan. Manfaat dari EDR ini juga untuk ruang elektrode, pada katode ion hidroksida dapat membentuk endapan putih dengan ion magnesium dalam air, bila fungsinya dibalik katode menjadi anode maka akan terbentuk gas khlor. Gas khlor akan larut membentuk asam hipokhlorit dan akan membantu melarutkan hidroksida. Menurut Meller (Schoeman, 1991), waktu yang baik untuk pembalikan kutub adalah setiap 15–20 menit. Pembalikan dilakukan secara berkala dan sebaiknya rutin. Pada saat pembalikan, dilakukan penggelontoran (*flushing*) cairan

dalam sel, oleh karena itu bila pembalikan dilakukan kontinyu bisa saja tidak diperlukan pembilasan electrode.

### **3.1.3.9 Hal-hal yang mempengaruhi pemakaian energi listrik**

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi pemakaian energi listrik pada ED, yaitu : 1. tahanan listrik pada membran, 2. tahanan listrik dari larutan.

#### **1. Pengaruh tahanan listrik pada membran**

Tahanan listrik pada membran apabila tinggi dapat mempengaruhi jumlah arus listrik yang diperlukan untuk memindahkan ion, semakin tinggi tahanan listrik pada membran maka akan semakin tinggi arus listrik yang diperlukan. Sehingga tahanan listrik pada membran diusahakan serendah mungkin yaitu dengan menjaga jangan terjadi penyumbatan (*fouling*) pada permukaan membran.

#### **2. Pengaruh tahanan listrik dari larutan**

Tahanan listrik dari larutan sangat mempengaruhi pemakaian energi pada ED, karena semakin tinggi tahanan listrik dari larutan maka semakin rendah daya hantar listrik atau konduktivitas dari larutan tersebut. Tahanan listrik larutan sangat dipengaruhi oleh temperatur, menurut Schoeman sekitar 2 hingga 3 persent daya hantar listrik larutan akan naik untuk setiap kenaikan temperatur 1 derajat, ini dikarenakan derajat ionisasi dan mobilitas ion juga bertambah.

Pengaruh kenaikan temperatur larutan juga terjadi pada kenaikan arus batas yang diperlukan, yaitu sekitar 1 hingga 4 persent untuk setiap kenaikan 1 derajat. Tetapi kenaikan temperatur ini harus dijaga pada batas membran tersebut mempunyai ketahanan pada temperatur yang ditentukan, karena kenaikan temperatur yang terlalu tinggi dapat berpengaruh pada :

1. Kerusakan pada spacer dan membran, dimana membran terbuat dari polymer yang sangat sensitif pada degradasi panas
2. Effisiensi pada penggunaan energi listrik.

### **3.1.3.10 Luas permukaan membran yang diperlukan**

Biaya kapital dari ED sangat tergantung juga pada total luas membran yang dipergunakan untuk transport ion (Sirkar, 1992). Besarnya kebutuhan luas membran sesuai dengan jumlah ion yang akan dipindahkan seperti persamaan berikut :

$$A = z F Q \Delta C n / i \xi \quad (7)$$

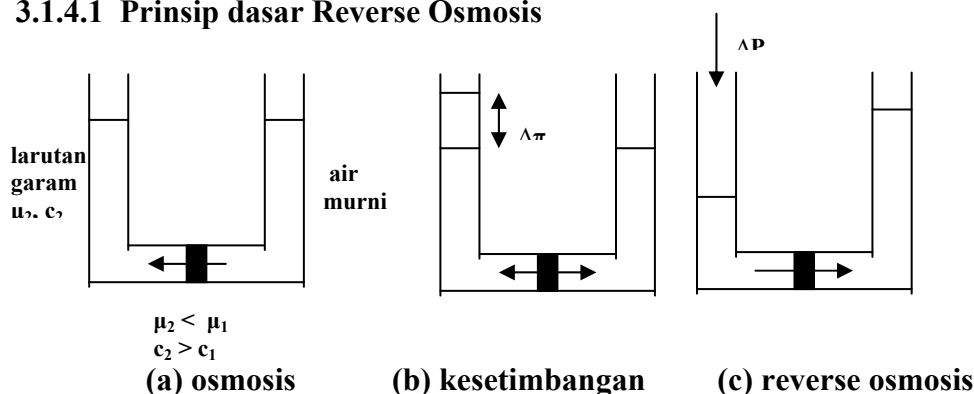


### 3.1.4 Reverse Osmosis

Reverse osmosis adalah proses pemisahan dengan membran berdasarkan gaya dorong tekanan, digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya.

Pada akhir tahun 1940, peneliti mulai pengujian cara mendapatkan air murni dari air laut atau air yang mengandung garam. Sepanjang masa Kennedy, Konversi air bersifat garam adalah suatu teknologi prioritas tertinggi serta “pergi ke bulan dan membuat padang pasir bunga” menjadi semboyan. Didukung Oleh pemerintah pusat dan badan pembiayai, sejumlah peneliti yang dengan cepat mengedepankan ilmu pengetahuan dan teknologi konversi air laut, tetapi UCLA membuat suatu terobosan penting di tahun 1959 dan menjadi yang pertama untuk mempertunjukkan suatu proses praktis yang dikenal sebagai Reverse Osmosis. Pada waktu itu, Samuel Yuster dan dua siswanya, Sidney Loeb dan Srinivasa Sourirajan, memproduksi suatu buatan membran Reverse Osmosis dari bahan kimia untuk cat/kertas asam cuka polymer. Membran yang baru adalah untuk mampu membuang garam dan menghantar air bersih pada laju alir normal dan tekanan realistis, membran Reverse osmosis nya juga tahan lama, dan bisa dibentuk dalam berbagai bentuk wujud geometris. Dampak dari penemuan ini telah dirasakan di seluruh dunia, dari aplikasi di deminiralisasi rumahan sampai ke ” sungai dari air bersih” di timur tengah dan Afrika Utara, dimana fasilitas Reverse Osmosis menghasilkan trilyunan galon air murni reverse osmosis tiap hari. Sekitar 60 persen kapasitas reverse osmosis dunia terletak di Semenanjung Arab.

#### 3.1.4.1 Prinsip dasar Reverse Osmosis



Gambar 3.22 Prinsip dasar proses reverse osmosis

Bila membran semipermeabel ditempatkan di antara air dan larutan garam, maka air akan bergerak melalui membran ke arah larutan garam secara alami. Fenomena ini disebut osmosis (gambar 3.22a) yaitu perpindahan pelarut dari larutan yang lebih encer (potensial kimia rendah) ke larutan yang lebih pekat (potensial kimia tinggi). Pergerakan air ke arah larutan garam disebabkan oleh adanya perbedaan potensial kimia antara dua bagian tersebut, dengan potensial kimia air lebih besar daripada potensial kimia larutan garam. Pergerakan ini akan berhenti bila kesetimbangan potensial kimia telah tercapai (gambar 3.22b). Pada keadaan kesetimbangan, perbedaan tekanan antara dua bagian cairan di sisi membran sama dengan tekanan osmotik larutan garam. Jadi besarnya tekanan yang harus diberikan pada bagian larutan garam untuk menghentikan aliran atau fluks air murni adalah sebesar tekanan osmotiknya. Apabila tekanan yang diberikan pada bagian larutan garam lebih besar daripada tekanan osmotiknya, maka arah aliran air akan berbalik. Peristiwa ini disebut Reverse Osmosis (RO) atau Hiperfiltrasi (Gambar 3.22c).

Besarnya tekanan osmotik  $= P = \pi$  adalah :

$$\pi = z c R T / M \quad \text{dengan } c = \text{konsentrasi g/l} \quad (8)$$

$R$  = konstanta gas

$T$  = temperatur

$M$  = berat molekul

$z$  = valensi

Untuk melewati air melalui membran, tekanan yang diberikan harus lebih besar dari tekanan osmotik (tekanan osmotik air laut sekitar 25 bar). Aliran air sebagai permeat dapat dinyatakan sebagai berikut ;

$$J_w = A \cdot (\Delta P - \Delta \pi), \quad (9)$$

Dengan ;  $A$  = koefisien permeabilitas

$\pi$  = tekanan osmotik larutan

$P$  = tekanan operasi

$J_w$  = fluks air murni

Secara umum proses RO dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu : RO tekanan tinggi (50-100 bar), RO tekanan sedang (15-40 bar) dan RO tekanan rendah (3-15 bar).

### 3.1.4.2 Material membran Osmosis Balik

Material membran sangat berpengaruh pada efisiensi pemisahan. Material yang digunakan pada proses ini diusahakan memiliki afinitas yang besar terhadap pelarut (air) dan afinitas yang rendah terhadap larutan. Pemilihan material menjadi sangat penting karena secara langsung akan menentukan sifat intrinsik membran.

Fluks permeat dan selektifitas merupakan faktor yang penting pada membran reverse osmosis. Fluks permeat dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi ketebalan membran. Untuk itu pada umumnya, membran RO mempunyai struktur asimetrik dengan lapisan atas (*skin*) yang tipis dan *dense* serta matrik penyokong dengan tebal 50 sampai 150  $\mu\text{m}$ . Tahanan ditentukan oleh lapisan atas yang *dense*.

Pada dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai material asal pembuat membran tetapi adanya bermacam-macam sifat fisika dan kimia, sehingga hanya beberapa saja yang bisa digunakan.

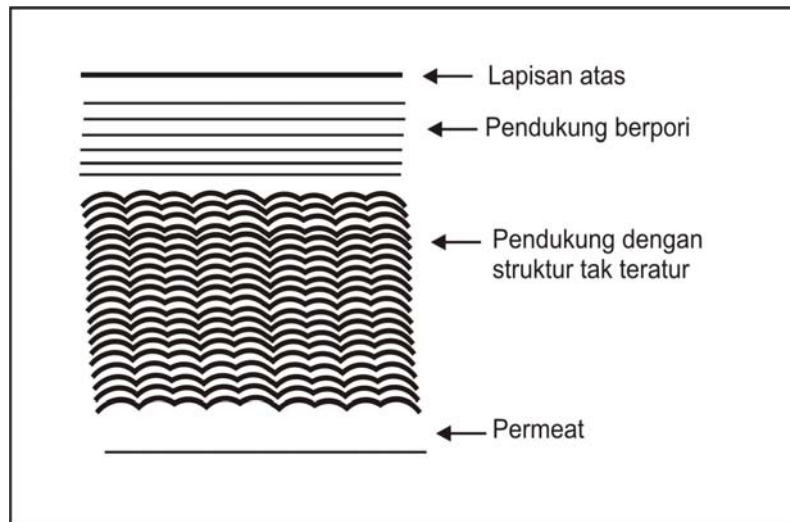
Batasan pH pada temperatur 25°C dan temperatur max pada pH 7 untuk polimer membran yang berbeda dan informasi mengenai ketahanan terhadap bahan kimia diperlihatkan pada tabel 3.7

**Tabel 3.7 Material Membran**

| Material/ Polimer            | Batasan<br>PH pd<br>25°C | Temp<br>max pd<br>pH 7 | Resistensi<br>Chlorine | Resistensi<br>Pelarut |
|------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Cellulose acetate            | 2 – 9                    | 50                     | cukup                  | kurang                |
| Polysulphone                 | 0 – 14                   | 8 ( 100 )              | cukup                  | cukup                 |
| Polyethersulphone            | 0 – 14                   | 80(100 )               | baik                   | cukup/ baik           |
| Sulphonated<br>polysulphone  | 2 – 12                   | 60 ( 80 )              | cukup                  | kurang                |
| Polyvinilidinediflu<br>oride | 1 – 12                   | 80(100 )               | sangat<br>baik         | baik                  |
| Polyamide(<br>aromatik )     | 2 – 12                   | 60                     | kurang                 | baik                  |
| Polyacrylonitrile            | 2 – 12                   | 50                     | baik                   | cukup                 |
| Polyamideimide               | 2 – 9                    | 50                     | kurang                 | baik                  |
| Polyimide                    | 2 – 8                    | 50                     | kurang                 | sangat baik           |
| fluorocopolymer              | 0 – 13                   | 80(100 )               | sangat<br>baik         | cukup/ baik           |

## 1. Membran Komposit

Membran komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih lapisan membran. Lapisan pertama merupakan lapisan tebal, berpori dan tidak selektif yang berperan sebagai lapisan pendukung. Selanjutnya dilapisi oleh lapisan yang selektif pada permukaan atas dengan komposisi kimia berbeda dengan membrane pendukung. Secara skematik dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 3.23 Skema membrane komposit**

Pembuatan membrane komposit telah dipelajari Cadotte dan Peterson melalui beberapa cara sebagai berikut :

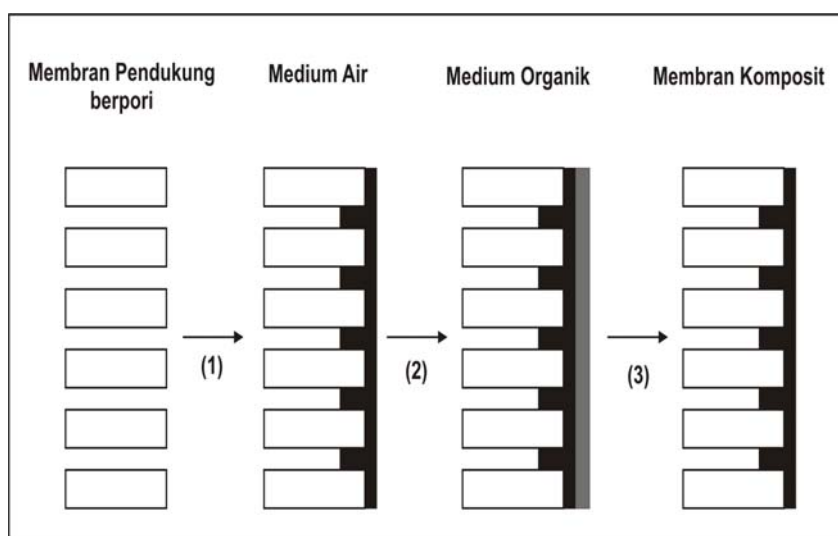
- Lapisan tipis film dibuat terpisah, kemudian dilapiskan pada pendukung berpori.
- Polimerisasi antarmuka monomer reaktif pada permukaan pendukung.
- Larutan polimer dilapiskan pada pendukung berpori dengan cara pencelupan dan dikeringkan
- Larutan monomer reaktif atau pre-polimer dilapiskan terhadap pendukung berpori diikuti dengan *post-cure* dengan panas atau radiasi
- Pengendapan film secara langsung dari plasma monomer fasa gas

### a. Polimerisasi Antarmuka Membran Komposit

Membran Komposit untuk osmosis balik pada umumnya dibuat melalui proses polimerisasi antarmuka dengan bahan poliamida. Telah dilaporkan oleh Robert J. Peterson bahwa reaksi polimerisasi antarmuka yang membentuk senyawa poliamida ternyata menghasilkan rejeksi yang tinggi tetapi fluksnya masih rendah.

Berbagai faktor yang menentukan kinerja membrane yang dihasilkan antara lain : jenis polimer (mengandung nitrogen, aromatic, linier), jumlah gugus fungsi (fungsionalitas), kedudukan gugus fungsi (orto, meta, para) dan sebagainya. Pemilihan polimer yang tepat akan menghasilkan membrane dengan kinerja yang tinggi.

Reaksi polimerisasi antara dua monomer yang sangat reaktif terjadi pada permukaan membrane. Kedua monomer dilarutkan dalam pelarut yang tidak saling bercampur (larut). Sebagai lapisan pendukung pada umumnya digunakan membran mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi. Selanjutnya membrane pendukung dicelupkan pada larutan air yang mengandung monomer reaktif, biasanya digunakan pada golongan amin; kemudian dicelupkan pada larutan kedua; yang digunakan biasanya asil klorida. Kedua monomer bereaksi satu sama lain membentuk polimer padat pada lapisan atas. Pemanasan sering menyempurnakan reaksi antarmuka. Kelebihan dari polimerisasi antarmuka ialah terbentuknya film tipis dengan ketebalan sekitar 50 $\mu$ m. Secara skematik reaksi polimerisasi antarmuka dapat dilihat pada gambar 3.24



**Gambar 3.24 Skema reaksi polimerisasi antarmuka pada pembentukan membrane komposit**

Komposisi dan morfologi dari film polimer yang terbentuk dari reaksi polimerisasi antarmuka tergantung dari beberapa variable di bawah ini :

1. Konsentrasi reaktan
2. Koefisien partisi reaktan dalam 2 jenis pelarut yang tidak saling larut
3. Perbandingan reaktivitas jika reaktannya merupakan blend atau campuran
4. Kelarutan dari polimer awal dalam pelarut dimana ia dibentuk

5. Kecepatan kinetic dan difusi dari reaktan
6. Adanya hasil sampling
7. Hidrolisis
8. Reaksi ikatan silang
9. Perlakuan pada lapisan antarmuka yang dihasilkan

## **2. Membran Pendukung Polisulfon**

Polimer polisulfon merupakan suatu basa lewis (karena mengandung gugus sulfon, aromatic dan eter) yang larut dalam pelarut-pelarut yang bersifat asam seperti : heksa fluoro isopropanol dan hidrokarbon terklorinasi seperti kloroform dan metilen klorida. Polimer ini juga larut dalam pelarut-pelarut polar seperti : dimetilformida (DMF), dimetil asetamida (DMAC), dimetil sukfosida (DMSO).

Polimer polisulfon bersifat termoplastis, transparan dengan temperature transisi gelas  $180 - 250^{\circ}\text{C}$ . Berbagai sifat polisulfon seperti sifat mekanik, termal, listrik, kelarutan telah diteliti menurut metode ASTM (American Standard for Testing Materials). Sifat ini menyebabkan polisulfon mudah dicetak, mudah diubah dalam berbagai bentuk.

Pembuatan membrane pendukung polisulfon dengan teknik Loeb dan Souirajan yang dikenal sebagai teknik larutan cetak. Polimer polisulfon dilarutkan dalam pelarut DMAC dalam komposisi tertentu dengan ditambah aditif untuk mengatur pori.

### **3.1.4.3 Karakterisasi Membran**

Karakterisasi membrane untuk osmosis balik secara praktis dapat dilihat dari parameter ketebalan membrane, fluks dan koefisien rejeksi. Hal ini menggambarkan sifat permeabilitas dan permselektivitas dari membrane. Membran mempunyai kinerja yang baik jika nilai fluks dan rejeksi tinggi, sehingga proses pemisahan berjalan efisien.

Sifat lain yang ditentukan dalam penelitian ini adalah derajat pengembangan, penampang lintang dan morfologi membran yang ditentukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

## **1. Permeabilitas Membran**

Permeabilitas membrane adalah merupakan ukuran yang menyatakan kecepatan suatu spesi tertentu untuk menembus membrane. Parameter yang digunakan untuk menyatakan permeabilitas adalah nilai fluks yang didefinisikan sebagai volume permeat yang melewati membrane per satuan luas membrane per satuan waktu. Fluks dinyatakan oleh persamaan 10.

$$J = V/(A.t) \quad (10)$$

dengan :

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan membrane (m<sup>2</sup>)

t = waktu (jam)

## 2. Permselektivitas

Permselektivitas membrane adalah ukuran kemampuan membrane menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu. Parameter yang digunakan untuk menyatakan permselektivitas adalah koefisien rejeksi yang didefinisikan sebagai fraksi konsentrasi zat terlarut yang tertahan oleh membrane. Koefisien rejeksi dinyatakan dalam persamaan (11)

$$R = (1-(C_p/C_f)) \times 100\% \quad (11)$$

dengan ;

C<sub>f</sub> = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan (feed)

C<sub>p</sub> = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat

### 3.1.4.4 Ketebalan Membran

Pengukuran ketebalan membrane berguna bagi pemakai dan pembuat membrane sebagai indicator keseragaman dan control kualitas membrane. Pengukuran ketebalan membrane dapat dilakukan dengan menggunakan micrometer.

### 3.1.4.5 Derajat Penggembungan

Penentuan derajat penggembungan merupakan salah satu metode untuk mengetahui terjadinya ikatan silang suatu polimer. Hal ini berdasarkan pada prinsip bahwa pada proses pelarutan polimer akan terjadi penggembungan terlebih dahulu.

Beberapa prinsip kelarutan dari polimer :

Polimer larut dalam pelarut dengan struktur dan sifat hamper sama

Polimer dengan berat molekul besar relatif kurang larut dibandingkan dengan berat molekul yang lebih kecil

Kelarutan polimer berkurang dengan adanya ikatan silang.

Derajat penggembungan dinyatakan dengan persamaan 12.

$$\%S = ((W_s - W_m)/W_m) \times 100\% \quad (12)$$

dengan :

S = derajat penggembungan

$W_s$  = berat polimer setelah penggembungan

$W_m$  = berat polimer sebelum penggembungan

#### 3.1.4.6 Morfologi Membran

Struktur pori dari membrane baik penampang lintang maupun permukaan dapat dianalisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Berkas electron dengan diameter 5 sampai 10 nm, diarahkan pada specimen. Interaksi berkas electron dengan specimen menghasilkan beberapa fenomena yaitu hamburan balik berkas electron, sinar X, sinar tampak, elektron sekunder dan absorpsi elektron yang memberikan informasi pengukuran SEM.

Sinyal yang dihasilkan dari penembakan elektron ditangkap oleh detector lalu diteruskan ke monitor. Pada monitor akan diperoleh gambar yang khas yang menggambarkan permukaan specimen. Selanjutnya dapat dipotret dengan film hitam putih.

Jika spesimen bukan merupakan konduktor yang baik maka perlu dilapisi dengan lapisan tipis 100 – 500Å<sup>0</sup> dengan bahan penghantar. Beberapa bahan penghantar yang biasa digunakan adalah emas, perak, karbon dan emas palladium. Pelapisan dilakukan dalam ruang penguapan hampa udara.

#### 3.1.4.7 Metode Bubble Point

Ukuran pori dari membrane dapat ditentukan dengan menggunakan metode bubble point, dimana hubungan antara tekanan dan jari – jari pori diberikan oleh persamaan Laplace :

$$r_p = (2\gamma/\Delta P) \cos \theta \quad (13)$$

dengan :



$r_p$  = jari – jari kapiler pori

$\gamma$  = tegangan permukaan cairan/udara

$\Delta P$  = beda tekanan

$\theta$  = sudut kontak

#### **3.1.4.8 Aplikasi reverse osmosis**

Teknologi Reverse Osmosis ini telah digunakan untuk menyaring air laut menjadi air murni sejak tahun 1970. Dan di Amerika sudah sejak lama digunakan di rumahan. Selain itu Reverse osmosis juga digunakan dalam beberapa proses campuran air di dalam pabrik yang memproduksi makanan dan minuman (Ref. Wikipedia). Produsen Minuman sirup juga memanfaatkan teknologi Reverse Osmosis. Beberapa pengusaha aquarium juga menggunakan Reverse Osmosis sebagai filter air dan juga untuk meningkatkan pertumbuhan ikan.

#### **3.1.4.9 Keunggulan Reverse Osmosis**

Keunggulan RO yang paling superior dibandingkan metode-metode pemisahan lainnya yaitu kemampuan dalam memisahkan zat-zat dengan berat molekul rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa. Keunggulan lain dari RO ini yaitu tidak membutuhkan zat kimia, dapat dioperasikan pada suhu kamar, dan adanya penghalang absolut terhadap aliran kontaminan, yaitu membran itu sendiri. Selain itu, ukuran penyaringannya yang mendekati pikometer, juga mampu memisahkan virus dan bakteri. Teknologi RO cocok digunakan dalam pemurnian air minum dan air buangan. Di bidang industri, teknologi RO dapat digunakan untuk memurnikan air umpan boiler. Selain itu, Karena kemampuannya dalam memisahkan garam-garaman, teknologi *reverse osmosis* cocok digunakan dalam pengolahan air laut menjadi air tawar (desalinasi).

#### **3.1.5 Nanofiltrasi**

Membran Nanofiltrasi (NF) mempunyai ukuran pori antara 2-5 nm. Dapat menahan sebagian ion dan melewatkan ion yang kecil dan monovalent dan zat organik dengan BM rendah. NF biasanya lebih permeabilitas terhadap air dari pada membran RO dan mempunyai tekanan operasi yang lebih kecil (7-30 atm).

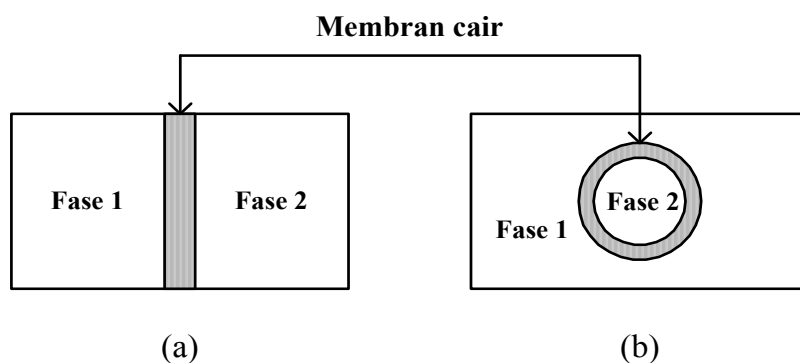
NF umumnya dipakai jika kita ingin memisahkan campuran komponen (*desirable component* dari *undesirable component*) yang pada umumnya akan sulit dipisahkan karena kecilnya ukuran partikel. Contohnya adalah pada proses pemekatan sirup jagung (*corn syrup*). Penerapan lain teknologi NF adalah untuk proses demineralisasi parsial dan pemekatan secara simultan, misalnya pada proses demineralisasi dari dadih susu.

### 3.1.6 Membran Cair

#### 3.1.6.1 Prinsip dasar pemisahan dengan membran cair

Pemisahan oleh liquid membran dilakukan berdasarkan perbedaan difusivitas antara zat-zat yang akan dipisahkan dalam membran. Membran cair merupakan suatu bentuk emulsi yang stabil, dimana mengandung larutan aqueous sebagai reagent dan fasa hidrokarbon yang saling tidak terlarut, kemudian membentuk fasa kontinyu dengan pengadukan kecepatan tinggi. Melalui pengadukan pada kecepatan rendah, emulsi mengalami kontak dengan fasa aqueous yang mengandung komponen yang akan dipisahkan.

Ada dua bentuk membran cair yaitu : (1) Membran emulsi atau membran cair surfactan (MCS), (2) Membran cair dengan penguat. Perbedaan keduanya dapat dilihat pada gambar (3.25).



**Gambar 3.25 Skematik a) membran dengan penguat b) membran emulsi**

**Sumber : Mulder (1990)**

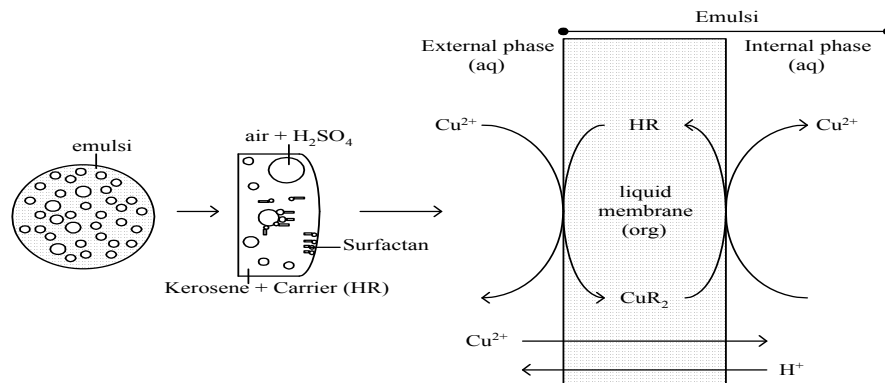
Mekanisme pemisahan logam dengan menggunakan membran emulsi dapat dilihat pada gambar 3.26 Ada tiga tahap pada proses pemisahan dengan cara ini yaitu :

1. Persiapan pembuatan larutan emulsi air/minyak (W/O), dengan mencampur air dan minyak pada kecepatan tinggi sehingga membentuk suatu emulsi, kemudian

ditambahkan surfactan untuk menstabilkan campuran tersebut. Agar campuran emulsi tersebut dapat mempertinggi proses pemisahannya perlu ditambahkan suatu molekul pembawa (carrier).

2. Tahap kedua adalah larutan emulsi tersebut dicampur dengan suatu larutan logam yang akan dipisahkan.

3. Selanjutnya diadakan pemisahan logam dari membran cair dengan melalui suatu tangki pengendap dilanjutkan dengan proses demulsifikasi.



**Gambar 3.26 Mekanisme pemisahan logam dengan membran emulsi**  
**Sumber : Fumiyuki (1993)**

### 3.1.6.2 Aplikasi membran cair ;

- Dalam pengolahan limbah, dapat menghilangkan kandungan ion pada limbah
- Penghilangan kandungan gas dari suatu larutan
- Penghilangan phenol
- Pemisahan dari bahan cairan organik

### 3.1.7 Dialisis

Dialisis merupakan salah satu proses membran yang penting. Membran dialisis umumnya digunakan untuk memisahkan garam dan microsolute dari larutan yang mengandung makromolekul. Contoh penggunaan dialisis yang penting adalah pada proses cuci darah (haemodialysis).

Hemodialisis adalah sebuah terapi medis. Kata ini berasal dari kata *haemo* yang berarti darah dan *dialisis* yang berarti dipisahkan. Hemodialisis merupakan salah satu dari Terapi Pengganti Ginjal, yang digunakan pada penderita dengan penurunan fungsi ginjal, baik akut maupun kronik. Prinsip dasar dari Hemodialisis adalah dengan menerapkan proses osmosis dan ultrafiltrasi pada ginjal buatan,

dalam membuang sisa-sisa metabolisme tubuh. Hemodialisis dapat dikerjakan untuk sementara waktu (misalnya pada Gagal Ginjal Akut) atau dapat pula untuk seumur hidup (misalnya pada Gagal Ginjal Kronik).

### **3.1.8 Distilasi membran**

Pada proses dengan distilasi membran dilakukan pemisahan dengan media kontak membran hidrophobik berpori. Proses tersebut terutama ditujukan untuk pemekatan larutan. Keuntungan proses ini dibandingkan dengan proses membran lainnya adalah, tidak adanya masalah *fouling* dan tidak diperlukan tekanan tinggi. Membran di sini hanya berfungsi sebagai *barrier* atau penghalang bagi kedua zat yang akan dipisah.

#### **3.1.8.1 Prinsip kerja Distilasi Membran**

Prinsip kerja distilasi membran secara umum ialah mengontakkan suatu larutan umpan yang akan dipisahkan di salah satu sisi membran (sisi umpan), di sisi yang lain dialirkan suatu fluida pendingin, yang bisa berupa cairan atau gas untuk menarik molekul uap air dari pori-pori membran tersebut. Dengan demikian fraksi mol uap air di sisi permeat selalu lebih kecil dari pada sisi umpan. Sehingga selalu terjadi perpindahan massa dari sisi umpan ke sisi permeat. Jika fluida pendingin yang mengalir di sisi permeat adalah fasa cair, maka sebagai gaya dorong perpindahan massa adalah perbedaan tekanan uap. Sistem seperti ini ada 2 macam yaitu tipe *Direct Contact (DCMD)* dan tipe *Air Gap Membrane Distillation (AGMD)*. Pada tipe *AGMD* terdapat ruang kosong atau gap udara dan pelat pendingin yang diletakkan sebelum aliran cairan. Pada kedua tipe ini kondensasi uap air langsung terjadi di dalam modul.

Jika fluida yang mengalir pada sisi permeat berupa fase gas, maka sebagai gaya dorong perpindahan massa adalah perbedaan tekanan patial. Untuk tipe ini juga ada dua macam yaitu tipe *Low Pressure (LPMD)* dan tipe *Sweeping Gas Membrane Distillation (SGMD)*. Pada kedua tipe ini kondensasi uap air terjadi di luar modul membran.

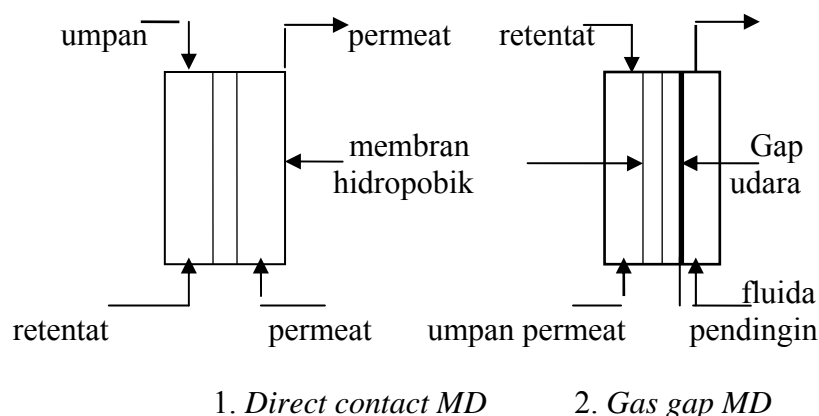
Modul yang digunakan dalam proses distilasi membran adalah bentuk *plate*, *tubular*, atau *hollow fiber*. Pemilihan konfigurasi membran, begitu juga penyusunan modul di dalam sistem biasanya didasarkan pada pertimbangan ekonomi agar biaya sekecil mungkin. Untuk memenuhi hal tersebut beberapa aspek harus dipertimbang-

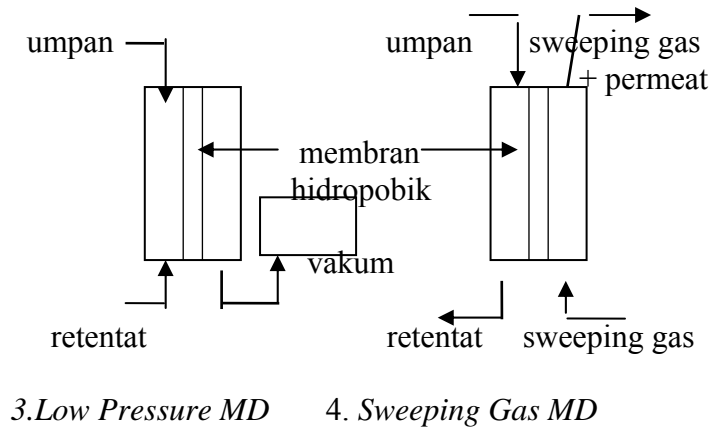
kan antara lain jenis umpan yang akan dipisahkan, kemudian operasional, kemungkinan *scale up*, kemudahan pembersihan dan pemeliharaan membran. Modul membran hollow fiber biasanya digunakan untuk proses yang umpannya cukup bersih.

Membran hollow fiber memiliki beberapa karakteristik antara lain

- Kecepatan aliran pada sistem ini berkisar antara 0,5 hingga 2,5 m/dt.
- Memiliki perbandingan luas permukaan/ volume membran yang tinggi.
- Tekanan operasi maksimum 1,8 atm.
- Diameter tubular kecil sehingga kadang-kadang menyebabkan penyumbatan pada lubang pemasukan umpan. Untuk mencegah terjadinya penyumbatan maka perlu dilakukan filtrasi pendahuluan sampai kandungan partikel berukuran lebih kecil dari 100 mikron.
- Biaya penggantian membran cukup tinggi. Jika salah satu *hollow fiber* lepas dari modul, maka keseluruhan membran harus dikeluarkan.
- Penurunan tekanan rendah, yaitu sekitar 0,33 – 1,25 atm, bergantung pada kecepatan aliran.
- Tegangan geser tinggi yaitu antara 4.000 – 14.000  $\text{det}^{-1}$ .

Pada saat ini dikenal empat macam tipe distilasi membran, yaitu tipe *Direct Contact Membrane Distillation (DCMD)*, tipe *Air Gap Membrane Distillation (AGMD)*, tipe *Low Pressure Membrane Distillation (LPMD)* dan tipe *Sweeping Gas Membrane Distillation (SGMD)*. Gambar keempat tipe tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2.



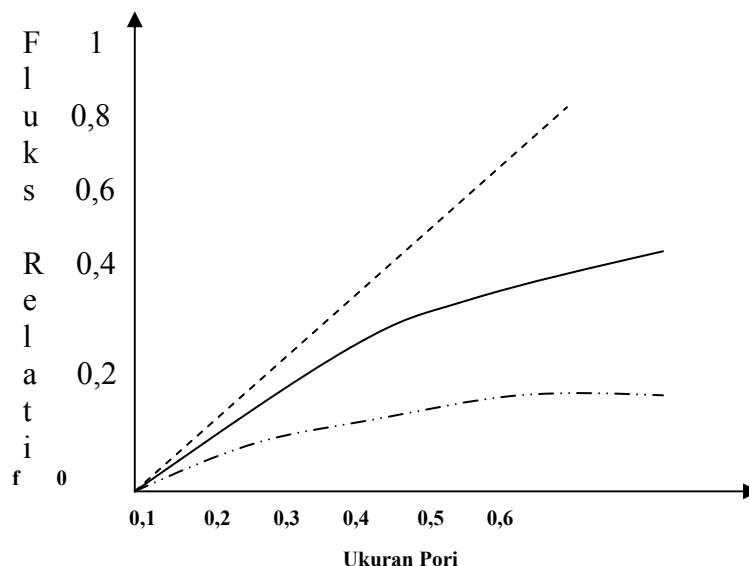


**Gambar 3.27 Berbagai tipe Distilasi Membran**  
(Mahreni, 2000)

### 3.1.8.2 Polarisasi Temperatur dan Konsentrasi

#### a. Polarisasi Temperatur

Profil temperatur dalam system *SGMD* dapat dilihat pada gambar 3.28. Gambar tersebut memperlihatkan adanya penurunan temperatur dari temperatur umpan ( $T_h$ ) menjadi ( $T_l$ ) di permukaan membran. Penurunan temperatur disebabkan karena sejumlah panas yang ada dalam umpan digunakan untuk penguapan, sehingga polarisasi temperatur ini tidak bias dihindari. Untuk meningkatkan efisiensi proses sebaiknya polarisasi temperatur ini diusahakan sekecil mungkin.



**Gambar 3.28 Hubungan Fluks dan diameter pori dengan tekanan udara di dalam pori yang berbeda**

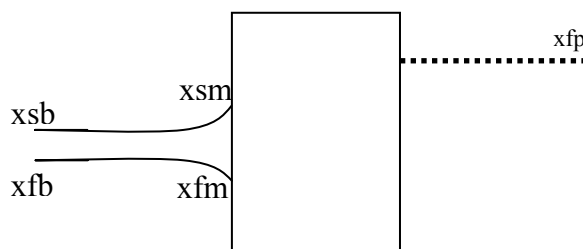
Keterangan Gambar : .....  $P = 0$  kPa

————  $P = 20$  kPa

.....  $P = 80$  kPa

### b. Polarisasi Konsentrasi

Profil konsentrasi *solute* dan *solvent* pada system *SGMD* dapat dilihat dalam gambar 3.29. Konsentrasi *solute* pada permukaan membran selalu lebih tinggi dari konsentrasi di fasa bulk. Kenaikan konsentrasi solute di permukaan membran disebabkan karena molekul solvent teruapkan di permukaan penguapan dan meninggalkan larutan masuk ke pori-pori membran. Akibatnya konsentrasi solute di permukaan membran naik dan sebagai konsekuensinya ialah penurunan tekanan uap pada permukaan membran. Penurunan tekanan uap akan diikuti oleh penurunan fluks. Dari teori yang diajukan oleh Scofield dan Fane (1987) konsentrasi *solute* pada permukaan membran 10% lebih tinggi dari pada konsentrasi solute di fasa bulk. Untuk perhitungan perolehan fluks secara teoritis, konsentrasi pada permukaan membran harus diketahui.



**Gambar : 3.29 Polarisasi konsentrasi pada membrane**

Keterangan gambar :

- $X_{fb}$ ,  $X_{fm}$  adalah fraksi mol solvent di bulk dan di permukaan membran
- $X_{sb}$ ,  $X_{sm}$ ,  $X_{fp}$  adalah fraksi mol solute di bulk dan di permukaan membran dan fraksi mol solute pada pemeat

Polarisasi konsentrasi hanya terjadi di permukaan penguapan dan permukaan membran sedangkan di sisi permeat, di permukaan membran di asumsi tidak terjadi polarisasi konsentrasi. Hal ini bisa terjadi karena membran bersifat hidrophobik. Scofield (1987) mengusulkan persamaan untuk menghitung konsentrasi polarisasi seperti :

Pengaruh polarisasi konsentrasi ini terlihat pada penurunan tekanan uap di permukaan membrane yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$P = \gamma (1 - X_{tM}) P^0 \quad (14)$$

$X_{tM}$  = Fraksi mol solute di permukaan membrane

### 3.1.8.3 Karakteristik Membran untuk Distilasi Membran

Membrane yang digunakan dalam proses distilasi membrane seharusnya memiliki sifat-sifat :

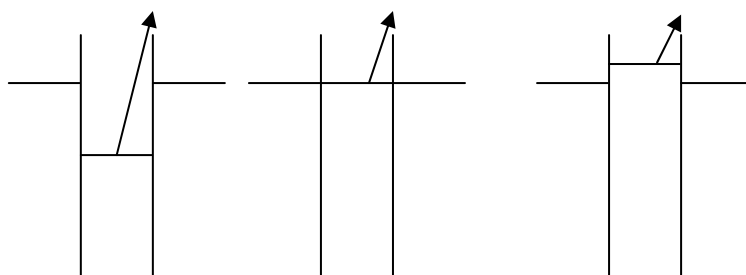
#### a. hidropobik

Bahan polimer mempunyai sifat hidropobik apabila sudut kontak yang dibentuk oleh interaksi fluida dan bahan tersebut membentuk sudut kontak yang lebih besar dari 90 derajat seperti gambar 3.30



**Gambar 3.30. Sudut kontak yang dibentuk antara Cairan-padatan**

Apabila struktur membrannya berpori maka sudut kontak antara cair-padat dapat digambarkan dengan ketinggian permukaan cairan didalam pipa kapiler seperti pada gambar 3.31



**Gambar 3.31 Sudut kontak yang dibentuk antara cairan dan padatan yang berpori**

Besarnya sudut kontak akan menentukan tekanan yang diperlukan untuk penetrasi cairan kedalam pori-pori membran. Makin besar sudut kontak tekanan yang dibutuhkan makin besar pula. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan yang diberikan oleh laplace yaitu :



$$\Delta P = \frac{-2B\gamma L \cdot \cos \theta}{r} \quad (15)$$

$\Delta P$  = Tekanan yang dibutuhkan untuk meresapnya air ke dalam pori-pori

$B$  = Faktor geometri pori-pori

$\gamma L$  = Tegangan permukaan cairan

$\theta$  = Sudut kontak yang dibentuk oleh cairan dan padatan

$R$  = Jari-jari kapiler

- b. Pori dan pori-porinya memiliki jari-jari pada kisaran 0,2-1  $\mu\text{m}$ . Bila jari-jari pori-porinya terlalu besar, cairan akan lebih mudah meresap ke dalam pori-pori, sehingga permukaan membran akan terbasahi oleh cairan umpan. Hal ini tidak diinginkan karena akan menurunkan tingkat rejeksi solute
- c. Porositas yang tinggi >75% karena makin besar porositas maka fluks yang dihasilkan akan makin tinggi
- d. Panas konduksi membran harus rendah. Semakin tinggi konduktifitas panas maka semakin besar pula kehilangan panas didalam membran. Hal ini tidak diinginkan karena akan mengurangi efisiensi panas.
- e. Ketebalan membran tidak terlalu tebal. Karena ketebalan membran berbanding terbalik dengan jumlah fluks yang dihasilkan.

Untuk proses distilasi membran ini biasanya digunakan bahan polimer dari jenis politetrafluoroetilene (PTFF), polipropilene (PP) dan Polivinilidene fluoride (PTFE). Membran yang akan digunakan harus dikarakterisasi untuk mengetahui performance dari membran tersebut. Adapun yang harus dikarakterisasi adalah :

- Porositas membran ( $\epsilon$ ). Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori membran dibagi dengan volume total. Porositas semakin besar fluks semakin besar.
- Diameter nominal pori-pori membran. Untuk mengetahui diameter nominal pori-pori digunakan metode *bubble point test*.
- *Liquid entry pressure of water (LEP<sub>w</sub>)*. Kadang disebut tekanan pembasahan. Yaitu tekanan maksimal sebelum terjadi peresapan air kedalam pori-pori membran yang kering.

Dari kelima sifat materi membran, ketebalan porositas membran dapat diketahui kekuatan teknik membran. Sedangkan fluks yang dihasilkan dapat dilihat dari ketebalan membran, porositas membran dan pori-pori membran serta *liquid-*

*entry pressure of water*. Faktor lain yang harus diketahui adalah IPA Porositas, ukuran pori maksimum, distribusi ukuran pori, morfologi pori, stabilitas terhadap temperatur dan ketahanan terhadap zat kimia.

#### 3.1.8.4 Faktor-faktor yang Berpengaruh Terhadap Fluks

Fluks didefinisikan sebagai jumlah permeat dihasilkan per satuan waktu per satuan luas permukaan membran ( $\text{kg/m}^2 \text{ jam}$ ). Adapun faktor-faktor yang berpengaruh terhadap fluks antara lain konsentrasi solute dalam larutan umpan, beda temperatur umpan dan temperatur *sweeping gas*, kecepatan larutan umpan dan kecepatan *sweeping gas* dan porositas. Pengaruh faktor-faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. **Konsentrasi solute.** Kenaikan konsentrasi solute menyebabkan konsentrasi dan aktivitas solvent serta koefisien perpindahan panas pada lapisan film makin kecil. Sehingga polarisasi temperatur makin besar dan temperatur pada permukaan membran semakin kecil. Sebagai akibat dari faktor-faktor tersebut diatas ialah penurunan tekanan uap air pada permukaan membran sehingga gaya dorong perpindahan menurun dan fluks juga makin kecil.
- b. **Temperatur.** Berdasarkan persamaan empiri, kenaikan temperatur akan diikuti oleh kenaikan fluks secara eksponensial.
- c. **Kecepatan larutan umpan.** Turbulensi aliran, sebagai fungsi kecepatan aliran, mempengaruhi koefisien perpindahan panas pada lapisan film. Makin besar tingkat turbulensi, koefisien perpindahan makin besar dan polarisasi temperatur pada permukaan membran makin kecil. Sebagai akibatnya fluks akan naik.
- d. **Kecepatan sweeping gas.** Kenaikan laju alir *sweeping gas* akan menaikkan gaya dorong perpindahan massa melalui membran, dengan memperkecil tekanan parsial pada permukaan membran pada sisi permeat. Dengan demikian fluks semakin meningkat dan pada suatu harga tertentu fluks tidak naik lagi atau mencapai maksimal.

#### 3.1.9 Membran Kontaktor

Secara umum proses absorpsi dilakukan menggunakan kontaktor gas-cair. Perpindahan massa kontaktor gas-cair diperoleh dengan kontak langsung dan dispersi satu fasa ke fasa yang lainnya.

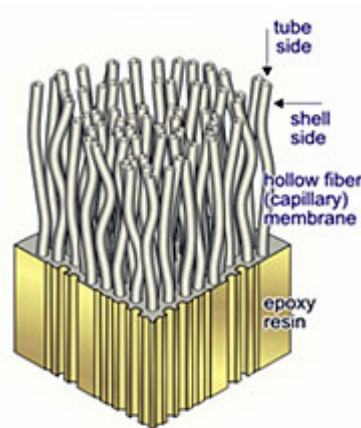
##### 3.1.9.1 Klasifikasi Kontraktor

Kontaktor industri diklasifikasikan ke dalam tiga kategori tergantung pada fasa terdispersinya.

- a. Kontaktor dimana cairan mengalir sebagai film tipis (contoh: *packed column*, *disc contactors*, dll).
- b. Kontaktor dimana gas didispersikan ke dalam fasa cairan (contoh: *plate column*, *bubble column*, *mechanically agitated contactors*, dll).
- c. Kontaktor dimana cairan didispersikan ke dalam fasa gas (contoh: *spray column*, *venturi scrubbers*, dll).

Kontaktor konvensional ini memiliki beberapa kekurangan, antara lain: konsumsi energi yang besar, susah dioperasikan karena seringnya muncul masalah seperti *flooding*, *foaming*, *channeling*, dan *entrainment*. Keterbatasan teknologi ini menyebabkan proses menjadi kurang efisien dan biaya yang mahal.

### 3.1.9.2 Membran Kontraktor *Hollow Fiber*

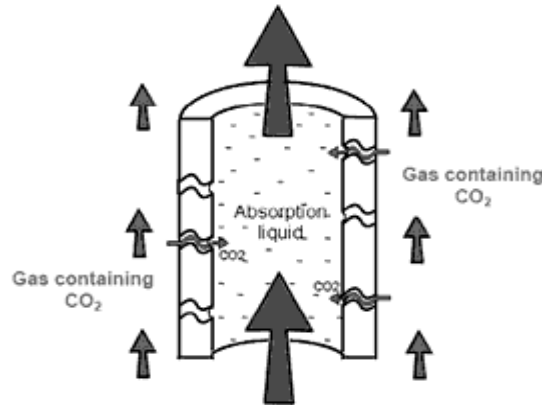


**Gambar 3.32 Membran *Hollow Fiber***

Teknologi alternatif yang tepat untuk menggantikan proses kontaktor konvensional adalah membran kontaktor *hollow fiber*. Beberapa keuntungan membran kontaktor dibandingkan dengan kontaktor konvensional, antara lain:

- a. Kontak bersifat non-dispersif sehingga tidak mungkin terjadi *flooding* dan *entrainment*
- b. Laju alir gas dan cairan lebih rendah dari kontaktor konvensional dan dapat bervariasi secara bebas
- c. Luas permukaan kontak yang sangat besar, yaitu 500-1500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Luas ini jauh lebih besar dari pada luas permukaan kontaktor konvensional yaitu 100-250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

- d. *Hold up* pelarutnya rendah, sangat atraktif untuk pelarut yang mahal
- e. *Scale-up* dapat dilakukan dengan mudah
- f. Keuntungan yang diberikan oleh membran kontaktor menyebabkan ukuran kontaktor menjadi jauh lebih kecil daripada kontaktor konvensional.



**Gambar 3.33 Membran Kontraktor Hollow Fiber**

Pada membran kontaktor, absorben mengalir didalam tube sedangkan aliran gas akan mengalir di bagian *shell* atau bisa juga sebaliknya. Jenis membran yang digunakan bisa berupa membran *porous* maupun membran *non-porous*. Pada membran *non-porous*, membran berfungsi sebagai batas antara fasa gas dan fasa liquid. Sedangkan pada membran *porous*, terjadi proses selektif dan perpindahan partikel yang terkontrol dari fasa gas ke fasa cairan. Akan tetapi, membran *porous* menyebabkan transfer perpindahan massa dari gas ke cairan menjadi kecil akibat tahanan dari membran. Sehingga, membran *porous* lebih disukai pada aplikasi membran kontaktor.

Seperti yang dijelaskan di atas, pada membran kontaktor terjadi kontak non-dispersif, yang artinya tidak terjadi kontak secara langsung antara absorben dan gas. Permukaan (*interface*) fluida/fluida terbentuk pada mulut pori membran, dan perpindahan massa akan terjadi melalui difusi pada permukaan fluida di dalam pori membran. Berbeda dengan jenis membran *reverse osmosis* ataupun nanofiltrasi yang menggunakan tekanan sebagai gaya dorong karena pada membran kontaktor gaya dorong yang digunakan adalah perbedaan konsentrasi.

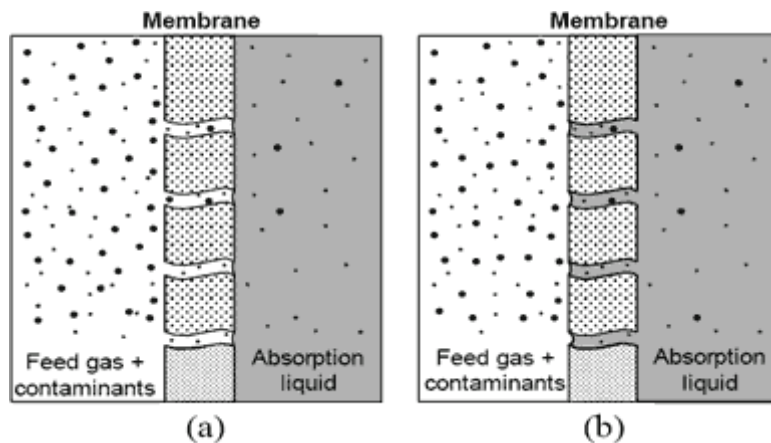
### 3.1.9.3 Perpindahan Massa dan *Modelling* pada Membran Kontaktor Gas/Cair

Perpindahan massa suatu komponen dari fasa gas ke dalam cairan yang mengalir di dalam membran *hollow fiber* terdiri dari tiga tahap, yaitu difusi solute dari fasa *bulk gas* ke permukaan membran, difusi melalui pori membran ke

permukaan cairan, dan difusi dari permukaan cairan ke fasa bulk cairan. Koefisien perpindahan massa overall tergantung pada resisten perpindahan massa individual, untuk fasa gas ( $1/kg$ ), membran ( $1/km$ ), fasa cairan ( $1/mk_L E$ ) dengan persamaan sebagai berikut [Kreulen et al]:

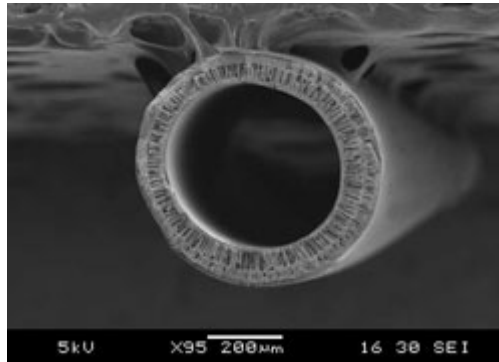
$$\frac{1}{K_{ov}} = \frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{mk_L E} \quad (16)$$

$E$  adalah *enhancement factor* yang menunjukkan peningkatan laju absorpsi karena reaksi kimia dan  $m$  adalah kelarutan fisik komponen gas di dalam cairan absorben. Sedangkan  $g$  ialah koefisien perpindahan massa berhubungan dengan hidrodinamik. Target dalam proses membran kontaktor adalah terjadinya perpindahan massa yang besar dari aliran gas menuju cairan absorben. Permasalahan utama yang muncul pada membran absorber adalah *wetting*.



**Gambar 3.34 (a) Membran kontaktor gas/cair *non-wetted* ; (b) Membran kontaktor gas/cair *wetted***

Peristiwa *wetting* disebabkan karena masuknya cairan absorben ke dalam pori membran yang menyebabkan terjadi peningkatan hambatan pada peristiwa perpindahan gas menuju cairan absorben sehingga terjadi penurunan koefisien perpindahan massa secara signifikan. Untuk membran berpori, tekanan minimum dibutuhkan oleh cairan untuk melakukan penetrasi ke dalam pori. Tekanan ini disebut tekanan *breakthrough* dan untuk menghindari *wetting*, tekanan cairan harus berada di bawah tekanan *breakthrough*. Selain itu, ada faktor lain yang harus diperhatikan seperti ukuran pori membran, dan sifat material dari membran.



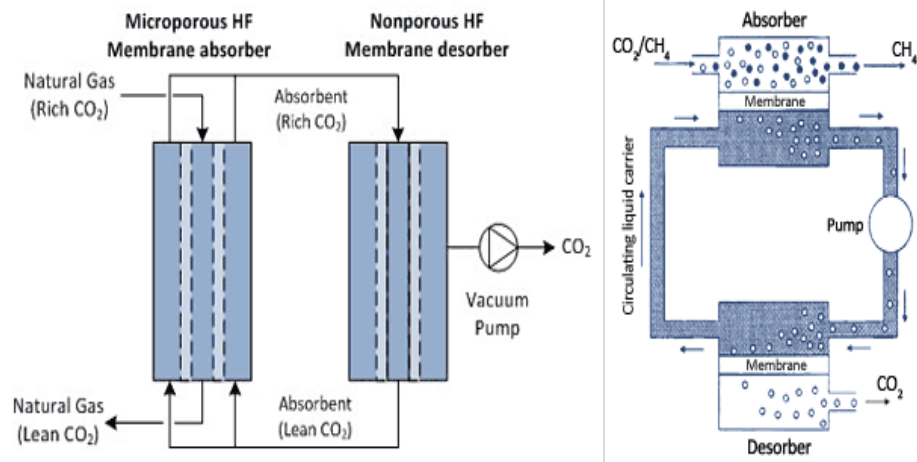
**Gambar 3.35 *Hollow Fiber* secara detail SEM.** Hollow Fiber in Detail. OD=0.6 mm

#### **3.1.9.4 Aplikasi Komersial Membran Kontaktor**

Beberapa perusahaan yang telah menggunakan membran kontaktor gas/cair untuk pemisahan CO<sub>2</sub> secara komersial:

- a. Kvaerner Oil & Gas and W.L. Gore & Associates GmbH** mengembangkan membran gas absorpsi untuk pemisahan gas asam dari gas alam dan gas buang dari turbin gas *offshore*. Pada proses ini, membran *hollow fiber PTFE* digunakan dengan pelarut fisik (*Morphysorb*) dan kimia (alkanolamine)
- b. TNO Environment Energy and Process Innovation** (Belanda) telah mengembangkan proses MGA untuk pemisahan CO<sub>2</sub> dari gas buang menggunakan membran PP *hollow fiber*. Pelarut yang digunakan disebut CORAL yang merupakan campuran garam dan asam amino.

Saat ini, teknologi membran kontaktor bergerak ke arah pemakaian dual *hollow fiber membrane* untuk proses absorpsi dan desorpsi secara simultan. Saat ini, pemakaian membran kontaktor hanya digunakan pada proses absorpsi, sedangkan proses regenerasi dilakukan dengan menggunakan temperatur tinggi untuk melepaskan gas CO<sub>2</sub> dari cairan absorben. Dari sisi energi, hal ini sangat tidak efisien. Oleh karena itu, dikembangkan proses desorpsi yang juga dilakukan melalui membran.



**Gambar 3.36 Dual Hollow Fiber Membrane untuk pemisahan CO<sub>2</sub>**

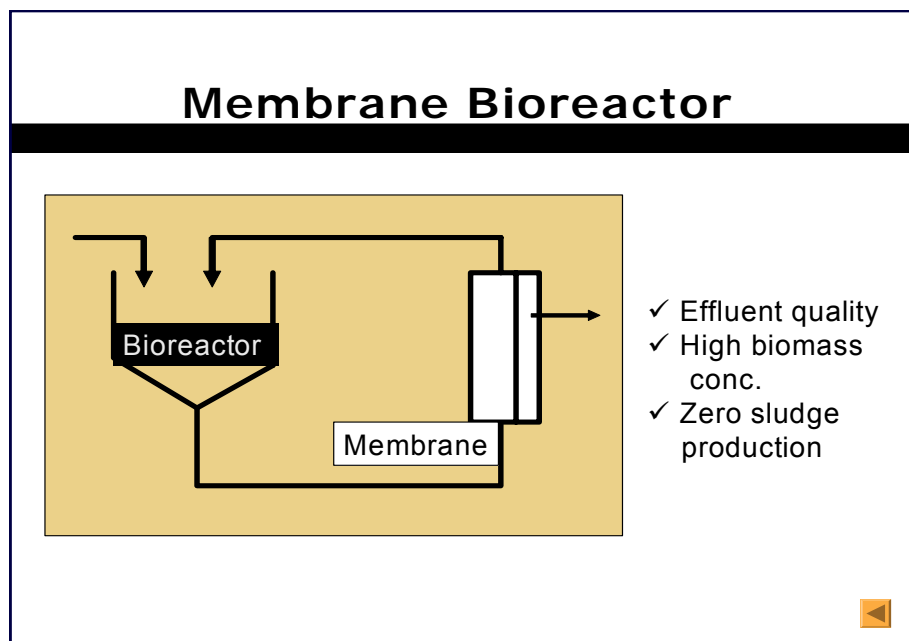
### 3.2 PERKEMBANGAN APLIKASI TEKNOLOGI MEMBRAN

3.2.1 Beberapa contoh proses pemisahan yang dapat dilakukan dengan menggunakan Teknologi Membran terlihat pada tabel 3.8

| Tabel 3.8 Proses pemisahan yang dapat dilakukan menggunakan membran |  |                    |  |
|---|--|--------------------|--|
| INDUSTRIAL SECTOR   |  | MEMBRANE PROCESSES |  |
| Drinking water  |  | NF, UF, RO         |  |
| Demineralized water   |  | RO, ED, EDI        |  |
| Wastewater treatment  |  |                    |  |
| - Direct (physical)   |  | MF, UF, NF, RO, ED |  |
| MBR   |  | MF, UF             |  |
| Food industry   |  |                    |  |
| Dairy   |  | UF, RO, ED         |  |
| Meat  |  | UF, RO             |  |
| Fruit & vegetables  |  | RO                 |  |
| Grain milling   |  | UF                 |  |
| Sugar   |  | UF, RO, ED, MF, NF |  |
| Beverages   |  |                    |  |
| Fruit juice   |  | MF, UF, RO         |  |
| Wine & brewery  |  | MF, UF, RO, PV     |  |
| Tea factories   |  | MF, UF, NF         |  |
| Medical   |  |                    |  |
| Control release   |  | UF                 |  |
| Hemodialysis  |  | RO, UF             |  |

| INDUSTRIAL SECTOR           |  | MEMBRANE PROCESSES       |  |
|-----------------------------|--|--------------------------|--|
| Biotechnology               |  |                          |  |
| Enzyme purification         |  | UF                       |  |
| Conc. of fermentation broth |  | MF                       |  |
| SCP harvesting              |  | MF, UF                   |  |
| Membrane reactor            |  | UF                       |  |
| Marine biotechnology        |  | MF, UF                   |  |
| Chemical industry           |  |                          |  |
| Gas separation              |  |                          |  |
| Hydrogen recovery           |  | GS                       |  |
| CO <sub>2</sub> separation  |  | GS                       |  |
| Vapor-liquid separation     |  |                          |  |
| Ethanol dehydration         |  | PV                       |  |
| Organic recovery            |  | PV                       |  |
| Chlor-alkali process        |  | Membr. electrolysis      |  |
| Energy                      |  |                          |  |
| Fuel-cell                   |  | Proton exchange membrane |  |

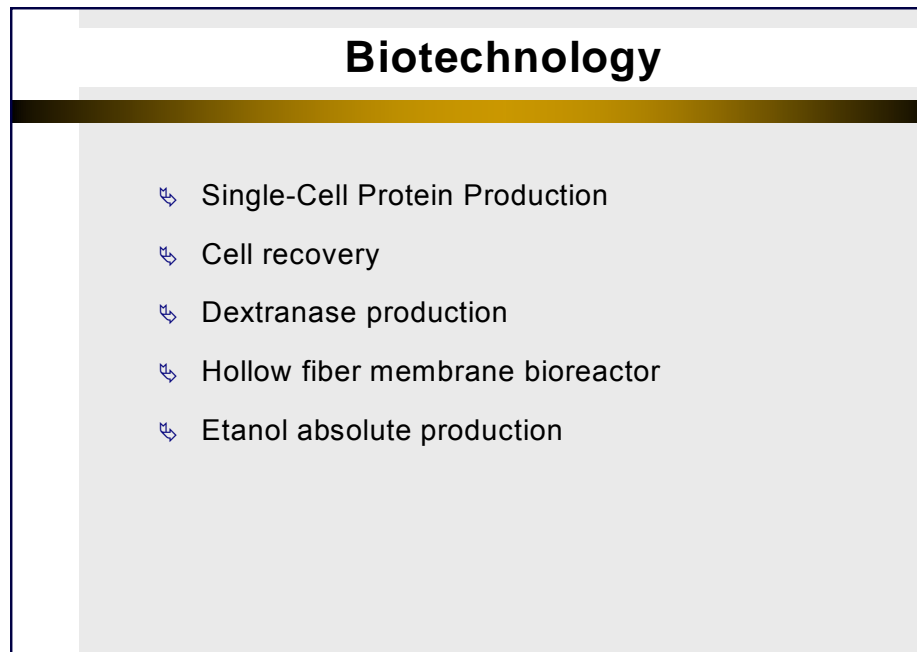
#### 3.2.2 Membran Bioreaktor



Gambar 3.37. Membran Bioreaktor

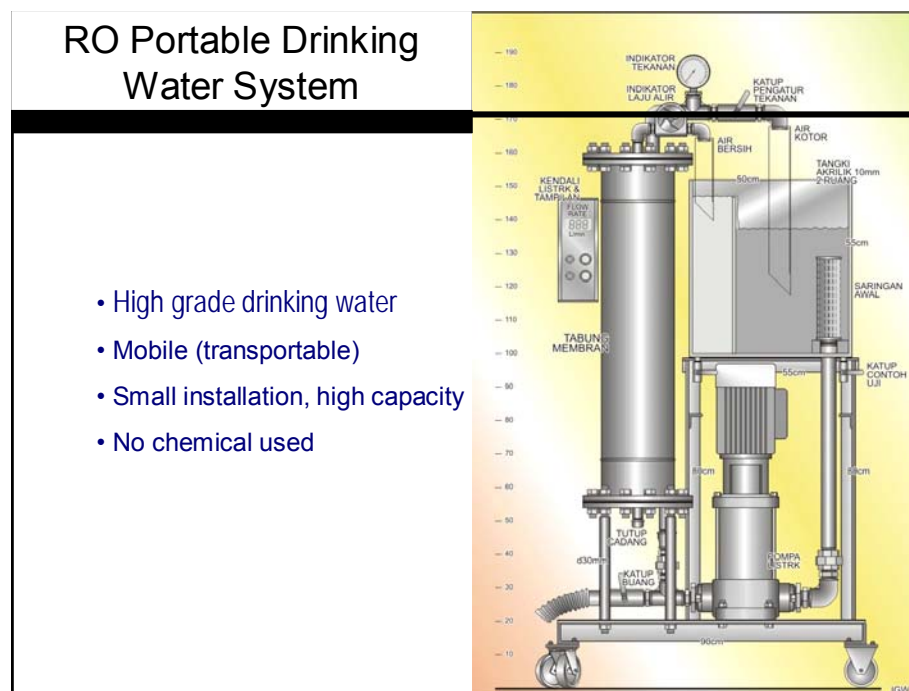


### 3.2.3 Penggunaan proses membran dalam bidang Bioteknologi



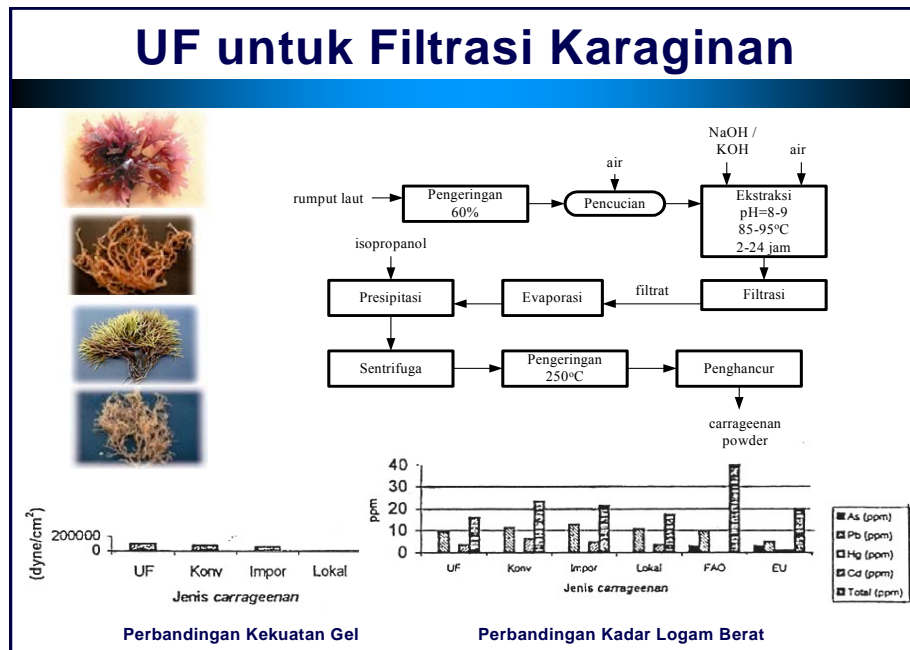
Gambar 3.38 Teknologi membran pada bidang Bioteknologi

### 3.2.4 Pengembangan Teknologi membran pada pengolahan air minum



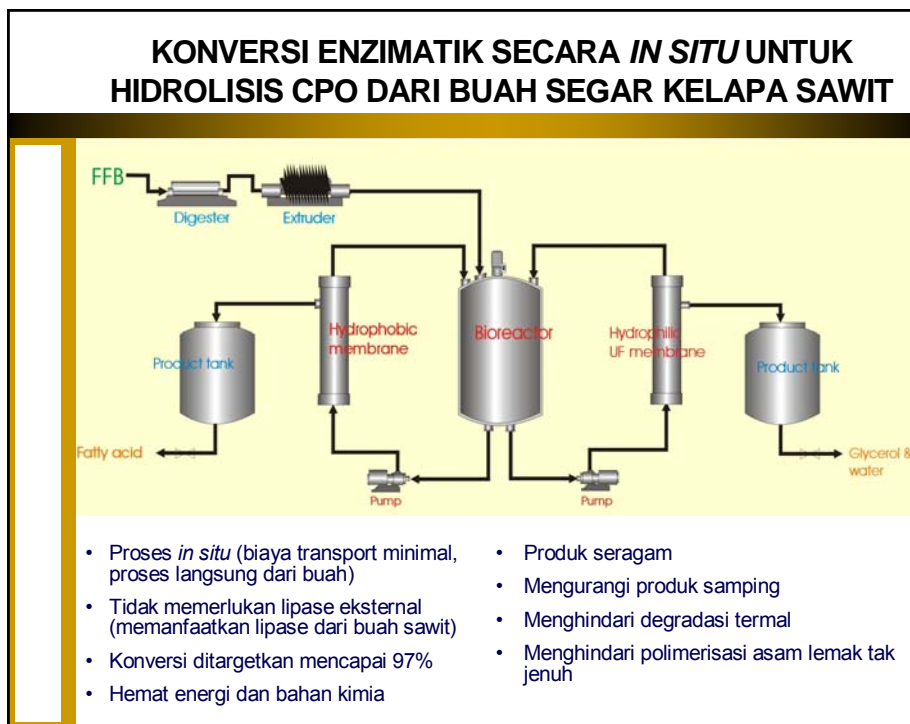
Gambar 3.39 Pengembangan Teknologi membran pada pengolahan air minum

### 3.2.5 Proses pemurnian karaginan



Gambar 3.40 Pengembangan Teknologi membran pada pengolahan karaginan

### 3.2.6 Teknologi membran pada pengolahan minyak kelapa sawit



Gambar 3.41 Teknologi membran pada pengolahan minyak kelapa sawit

### 3.2.7 Teknologi membran pada pengolahan minyak jarak



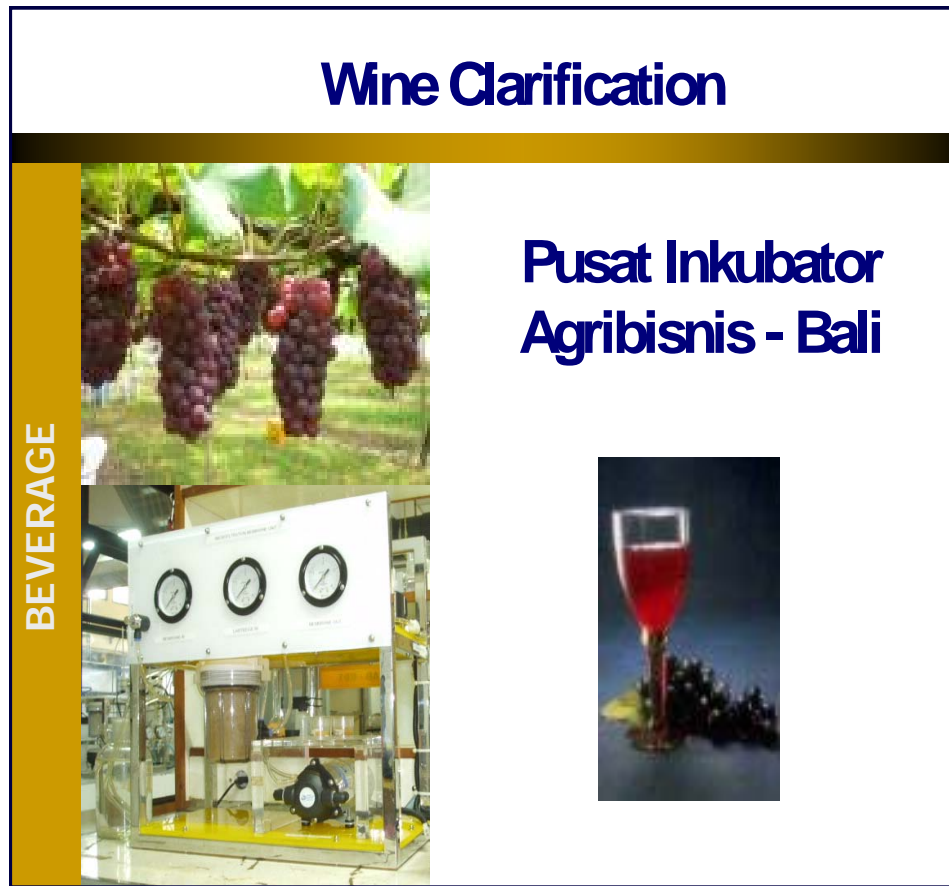
Gambar 3.42 Teknologi Membran pada Pengolahan Minyak Jarak

### 3.2.8 Teknologi membran pada pengolahan VCO



Gambar 3.43 Teknologi membran pada pengolahan VCO

### 3.2.9 Teknologi membran untuk pengolahan Anggur



Gambar 3.44 Teknologi membran untuk pengolahan Anggur

### 3.2.10 Teknologi pengolahan Temulawak



**Gambar 3.45 Teknologi pengolahan Temulawak**

### 3.3 Latihan 3

Berilah tanda silang huruf B bila jawaban saudara Benar dan S bila jawaban saudara Salah yang sesuai dengan pendapat saudara.

- 1). B - S Jenis proses teknologi membran yang ada hingga saat ini ada 8 jenis.
- 2). B - S Pada MF, garam-garam tidak dapat di rejeksi dan proses pemisahan dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu dibawah 2 bar.
- 3). B - S Ultrafiltrasi biasanya digunakan untuk memisahkan senyawa yang berberat molekul tinggi dari senyawa yang berberat molekul rendah, yang umumnya karakteristik membran tsb dinyatakan dalam *Molecular Weight Cut Off (MWCO)*,
- 4). B - S Membran ED adalah penghantar listrik dan tembus air dan merupakan resin yang dibentuk sebagai lembaran, yang dapat selektif anion atau kation.
- 5). B - S Bila membran semipermeabel ditempatkan di antara air dan larutan garam, maka air akan bergerak melalui membran ke arah larutan garam secara alami. Fenomena ini disebut osmosis yaitu perpindahan pelarut dari larutan yang lebih encer (potensial kimia rendah) ke larutan yang lebih pekat (potensial kimia tinggi)
- 6). B - S NF biasanya lebih permeabilitas terhadap air dari pada membran RO dan mempunyai tekanan operasi yang lebih kecil (7-30 atm).
- 7). B - S Membran cair merupakan suatu bentuk emulsi yang tidak stabil, dimana mengandung larutan aqeous sebagai reagent dan fasa hidrokarbon yang saling tidak terlarut, kemudian membentuk fasa kontinyu dengan pengadukan kecepatan tinggi.
- 8). B - S Ada dua bentuk membran cair yaitu : (1) Membran emulsi atau membran cair surfactan (MCS), (2) Membran cair dengan penguat.
- 9). B - S Membran dialysis umumnya digunakan untuk memisahkan garam dan microsolute dari larutan yang mengandung makromolekul.

- 10). B - S Pada Reverse Osmosis, untuk melewati air melalui membran, tekanan yang diberikan harus lebih besar dari tekanan osmotik (tekanan osmotik air laut sekitar 25 bar).

### 3.3 Rangkuman

Pada saat ini terdapat 7 alat pemisahan yang menggunakan membran yaitu, Mikrofiltrasi (MF), Ultrafiltrasi (UF), Elektrodialisis (ED), Reverse Osmosis (RO), Nano Filtrasi, Dialisis dan membran cair. Pada MF garam-garam tidak dapat direjeksi, hanya dapat merejeksi koloid, mikroorganisme dan suspended solid. UF, MF dan RO ketiganya bekerja berdasarkan gaya dorong tekanan, sedangkan ED berdasarkan beda potensial. Membran cair banyak digunakan untuk memisahkan logam dari larutannya, cara kerjanya berdasarkan beda konsentrasi dan adanya suatu zat pembawa.

### 3.4 Tes Formatif 3

Jawablah dengan singkat dan jelas.

- 1). Sebutkan berapa jenis aplikasi membran Mikrofiltrasi yang saudara ketahui!.
- 2). Sebutkan dan jelaskan kelemahan dari membran Ultrafiltrasi
- 3). Jelaskan prinsip dasar dari proses membran Elektrodialisis
- 4). Jelaskan prinsip dasar dari membran Reverse Osmosis
- 5). Ada tiga tahap proses pemisahan dengan membran cair, jelaskan.

### 3.5 Umpan balik dan Tindak Lanjut

Cocokkanlah jawaban saudara dengan kunci Tes Formatif yang ada dibagian akhir modul ini, hitunglah jumlah jawaban saudara yang benar, kemudian gunakan rumus dibawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan saudara terhadap materi kegiatan 2.

#### **Rumus :**

Tingkat penguasaan =  $\frac{\text{Jumlah jawaban saudara yang benar}}{5} \times 100\%$

Arti tingkat penguasaan yang saudara capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

-69% = kurang

Kalau saudara mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, saudara dapat meneruskan dengan kegiatan 3, Bagus., tetapi bila kurang dari 80%, saudara harus mengulang kegiatan belajar 2, terutama bagian yang saudara belum kuasai.



## **BAB 4**

### **PROSES DESALINASI AIR LAUT**

#### **Pokok Bahasan :**

Dalam bab ini dibahas tentang tentang beberapa proses desalinasi air laut, yaitu proses desalinasi dengan cara distilasi, evaporasi dan dengan menggunakan membran. Proses –proses desalinasi tersebut diuraikan secara jelas dan dilengkapi dengan gambar, cara kerja serta kelebihan dan kelemahannya.

#### **Tujuan Instruksional, pembaca diharapkan :**

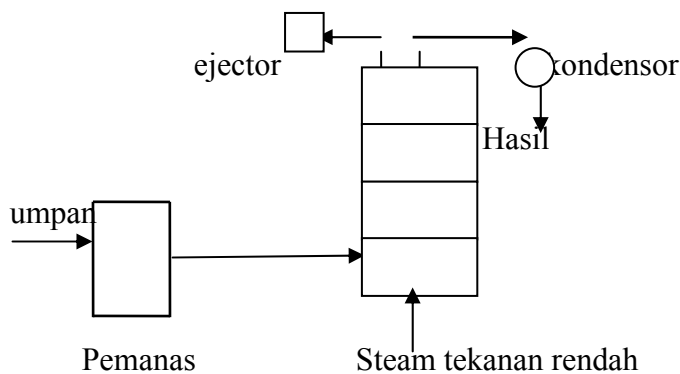
1. Memahami tentang jenis-jenis proses desalinasi air laut
2. Mengetahui dengan jelas mekanisme dari masing-masing proses desalinasi
3. Mengetahui kelebihan dan kekurangan dari masing-masing proses desalinasi air laut
4. Dapat memilih proses desalinasi air laut sesuai dengan kegunaannya

#### 4.1 Desalinasi dengan proses Distilasi

Proses desalinasi air laut dengan cara distilasi merupakan cara lama yang membutuhkan banyak energi, karena terjadi perubahan fase yang banyak membutuhkan kalor. Cara distilasi digunakan bila kondisinya memadai karena biaya yang diperlukan relatif tinggi.

Proses desalinasi dengan cara distilasi terdiri dari : (a) *multistage flash distillation*, (MSF). (b) *multiple effect distillation*, (c) *vapour compression*

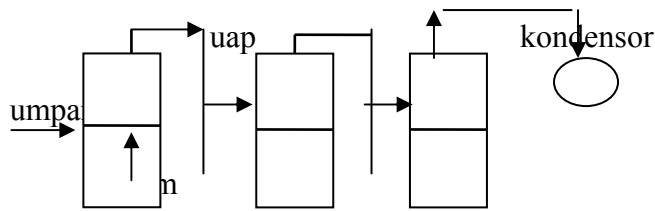
##### a. *Multistage flash distillation*



**Gambar 4.1 *Multiple Stage Flash Distillation***  
( Perry, 1997)

Sistem pemanasan air laut dalam MSF dilakukan secara bertingkat, pertamakali air laut dipanaskan pada suatu pemanas, kemudian dialirkan ke bagian bawah alat distilasi dan dipanaskan dengan menggunakan pemanas steam tekanan rendah sehingga mendekati titik didihnya. Distilasi cara ini dinamakan *flash distillation* atau distilasi kilat, karena uap yang terjadi pada setiap ruang penguapan langsung dialirkan ke setiap tingkatan selanjutnya yang mempunyai tekanan lebih rendah daripada tingkatan di bawahnya. Kenaikan tekanan ini dilakukan dengan menggunakan ejector, dan diharapkan diperoleh uap sebanyak-banyaknya. Uap air yang dihasilkan pada tingkatan terakhir dikondensasikan dan air yang dihasilkan langsung ditampung.

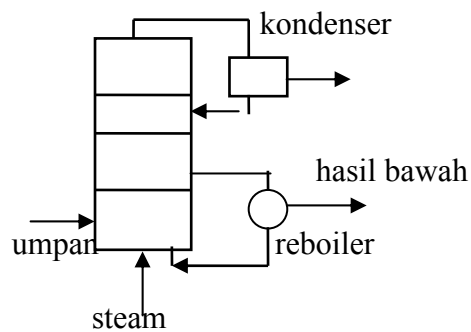
b. *Multiple Effect Distillation*



**Gambar 4.2 *Multiple Effect Distillation***  
(Perry, 1997)

1. Proses distilasi secara seri, yaitu dengan memasang beberapa tangki distilasi secara seri, kalor pada tangki kedua dan seterusnya dengan memanfaatkan kalor dari uap yang dihasilkan dari tangki sebelumnya.
2. Tekanan tangki kedua lebih tinggi dari tangki pertama, begitu juga tangki-tangki lainnya.
3. Tangki pertama menggunakan kalor dari steam boiler.

c. *Vapor Compression Distillation*



**Gambar 4.3 *Vapor Compression Distillation***  
(Perry, 1997)

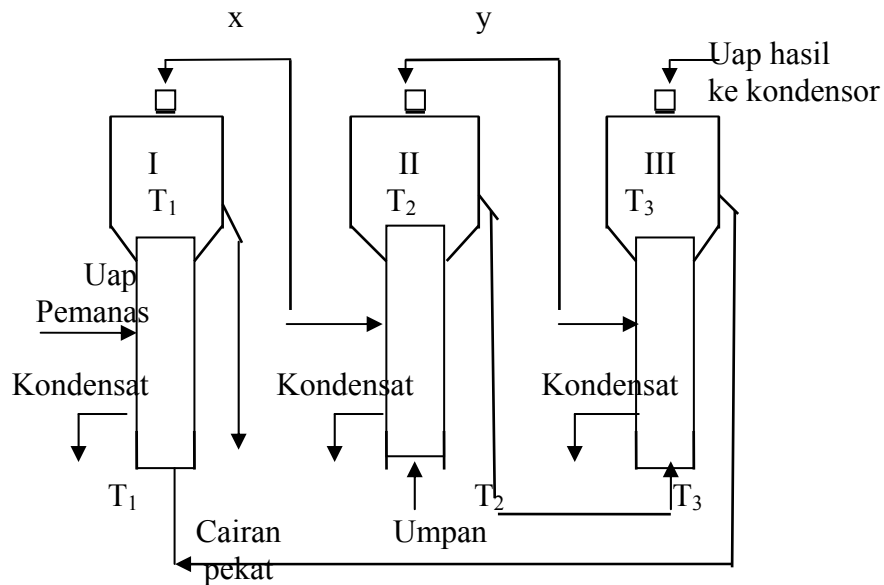
Uap air yang terbentuk dari proses distilasi pada bagian bawah digunakan kembali melalui suatu reboiler.

Beberapa lagi desalinasi air laut dengan proses Distilasi pada masa kini dapat lagi dilihat dari beberapa gambar dibawah ini :

#### 4.2 Desalinasi dengan Proses Evaporasi

Tujuan evaporasi ialah untuk pemisahan pelarut dari larutan untuk memperoleh larutan yang lebih pekat. Dalam kebanyakan proses evaporasi pelarutnya adalah air. Evaporasi dilaksanakan dengan menguapkan sebagian dari pelarut, sehingga diperoleh uap air yang akan diteruskan ke kondensor untuk

dicairkan. Proses-proses evaporasi skala besar sudah banyak dikembangkan dan digunakan untuk membuat air minum dari air laut (McCabe, 1991). Gambar 4.4 menggambarkan sistem *multiple effect evaporation*. Pada *Multiple effect evaporation*, uap dari satu efek berfungsi sebagai medium pemanas bagi efek berikutnya. Kondensor dan ejector udara membangkitkan vakum pada efek ketiga pada rangkaian di bawah, dan menarik ke luar gas-gas tak mampu kondensasi dari sistem tersebut.



**Gambar 4.4 *Multiple effect Evaporation***  
( McCabe, 1991)

### 4.3 Pemisahan dengan membran

Ada 3 proses desalinasi air laut dengan menggunakan membran yaitu : (1) distilasi membran, (2) osmosis balik, (3) elektrodialisis.

#### 4.3.1 Distilasi membran

Pada proses desalinasi dengan distilasi membran dilakukan pemisahan dengan media kontak membran hidrophobik berpori. Proses tersebut terutama ditujukan untuk pemekatan larutan. Keuntungan proses ini dibandingkan dengan proses membran lainnya adalah, tidak adanya masalah *fouling* dan tidak diperlukan tekanan tinggi. Membran di sini hanya berfungsi sebagai *barrier* atau penghalang bagi kedua zat yang akan dipisah.

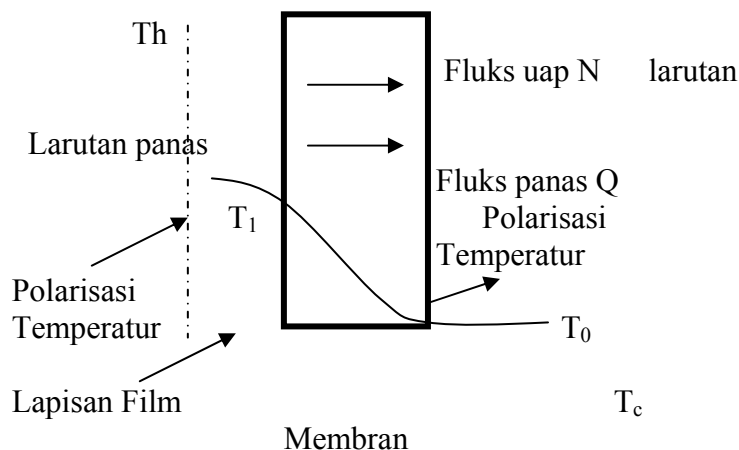
Penggunaan distilasi membran pada desalinasi air laut digantikan oleh RO karena biaya lebih murah dan cepat operasinya. Energi bagi RO hanya

dipergunakan untuk pemompaan larutan masuk dan dapat dilakukan pada suhu lingkungan.

#### 4.3.1.1 Mekanisme Perpindahan

Perpindahan massa dalam proses distilasi membran ditandai dengan terjadinya perpindahan uap air melewati membran melalui dua mekanisme yaitu perpindahan secara difusi dan perpindahan secara konveksi. Gaya dorong untuk perpindahan massa ini adalah perbedaan tekanan partial di kedua sisi permukaan membran. Adanya gaya dorong tersebut menyebabkan uap air berpindah setelah melewati hambatan dalam membran.

Dua tahanan perpindahan massa yang paling berpotensi terhadap perpindahan tersebut yaitu tahanan yang disebabkan oleh struktur membran dan tahanan oleh adanya udara diam yang terperangkap dalam pori-pori membran. Mekanisme perpindahannya dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



**Gambar 4.5 Mekanisme Perpindahan dalam Membran Distilasi**

Fluks perpindahan massa dalam proses distilasi membran diberikan oleh persamaan berikut :

$$\frac{N_A}{A} = K(P_1 - P_0) \quad (17)$$

Dengan  $N_A/A$  ,  $K$ ,  $P_1$  dan  $P_0$  masing-masing adalah fluks uap, koefisien perpindahan massa, tekanan uap air pada bagian umpan dan tekanan uap air pada bagian permeat. Harga  $K$  tidak begitu dipengaruhi oleh temperatur. Jika perpindahan konveksi merupakan mekanisme yang dominan maka  $K$  sangat tergantung pada geometri

membran, sebaliknya jika perpindahan difusi dominan maka fraksi mol rata-rata pada pori-pori membran merupakan faktor pengendali kecepatan perpindahan uap.

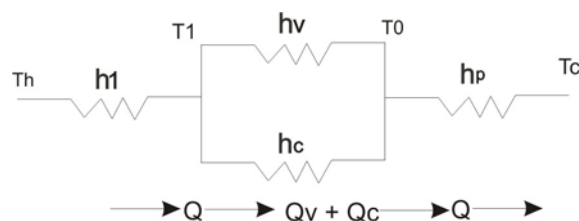
#### 4.3.1.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas di dalam distilasi membran terjadi dengan 2 mekanisme, yang pertama perpindahan panas penguapan fluks uap dan yang kedua adalah perpindahan panas konduksi melalui membran. Dalam sistem ini sejumlah panas disuplai ke permukaan penguapan untuk menguapkan larutan umpan. Panas tersebut disuplai dari larutan umpan yang suhunya tinggi ( $T_1$ ) dan kemudian dilepas ke permukaan membran yang suhunya lebih rendah ( $T_0$ )

Untuk menjelaskan proses perpindahan panas didalam SGMD, Fane dan Scofield (1987) menggambarkannya seperti dalam gambar 4.5. Sedangkan profile temperatur terhadap ketebalan membran dapat dilihat pada gambar (4.6).

Proses perpindahan panas dibagi menjadi 4 langkah yaitu :

- Perpindahan panas dari permukaan penguapan ke permukaan membran atau perpindahan melalui lapisan film yang terbentuk oleh permukaan penguapan dan permukaan membran.
- Perpindahan panas latent yang dibawa oleh fluks uap air dan permukaan membran yang suhunya tinggi ( $T_1$ ) melalui pori-pori menuju ke permukaan membran yang suhunya lebih rendah ( $T_0$ )
- Perpindahan panas konduksi di dalam membran
- Perpindahan panas konduksi dari permukaan membran dengan suhu ( $T_0$ ) ke bulk permeat dengan suhu ( $T_c$ )



**Gambar 4.6 Tahapan perpindahan panas dalam distilasi membrane**

Dari gambar dapat dijelaskan bahwa koefisien perpindahan panas di lapisan umpan ( $h_1$ ) merupakan koefisien perpindahan panas yang mengalir dari permukaan penguapan ke permukaan membran. Koefisien perpindahan panas pada permeat ( $h_p$ ) merupakan koefisien perpindahan panas yang mengalir dari permukaan membrane

kebidang kontak uap air dan udar (*sweeping gas*). Koefisien perpindahan panas konduksi di dalam membrane ( $h_c$ ) ditulis dengan persamaan (18).

$$Q_C = h_C (T_1 - T_0) \quad (18)$$

$$\frac{\varepsilon k_g + (1 - \varepsilon)k_s}{cT} (T_1 - T_0) \quad (19)$$

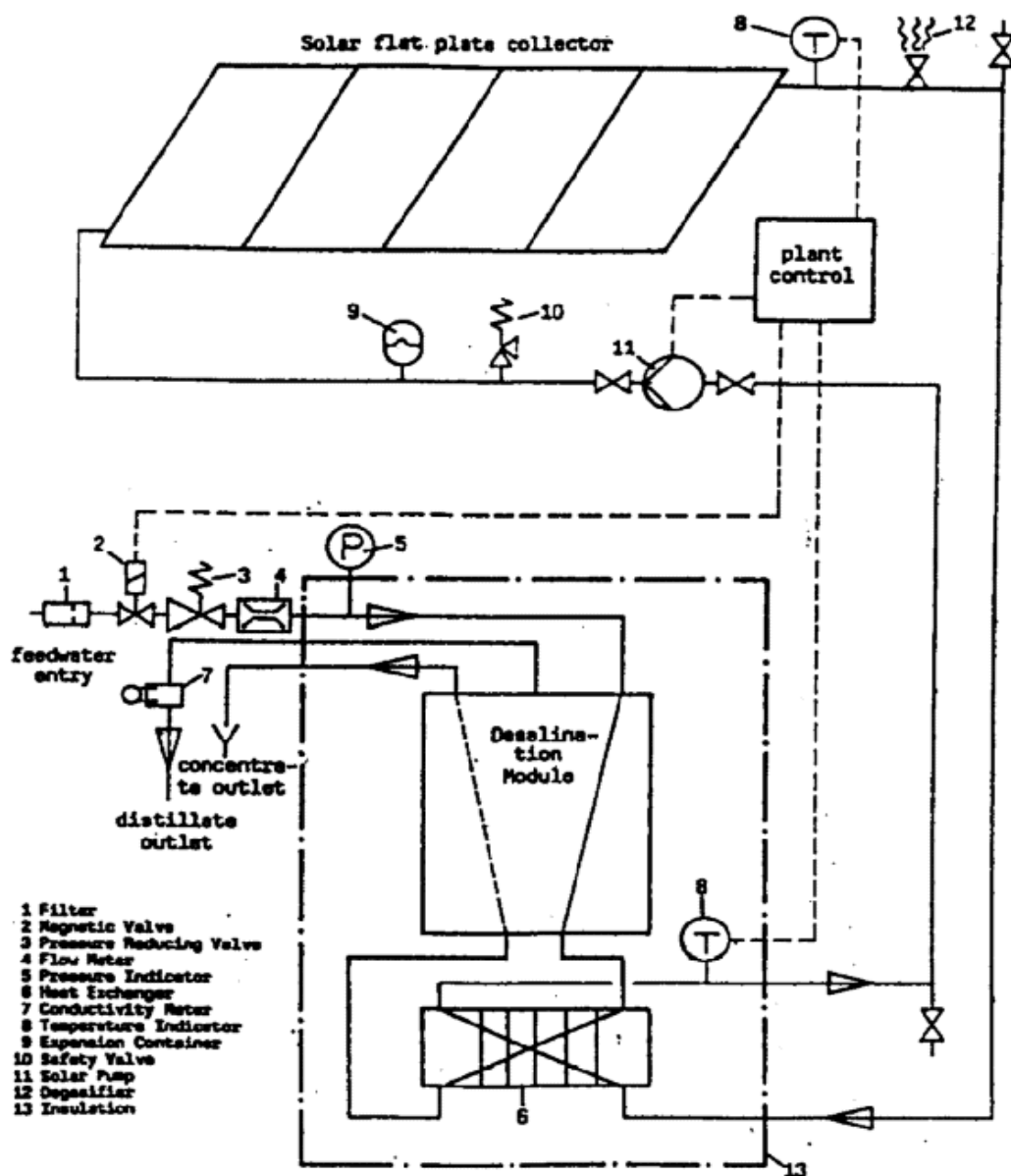
Dengan  $K_g$  dan  $K_0$  masing-masing adalah konduktivitas panas gas dan konduktivitas panas membran. Perpindahan panas laten yang dibawa oleh uap melalui pori-pori membran dari suhu ( $T_1$ ) ke permukaan membrane dengan suhu ( $T_0$ ) sebagai berikut :

$$Q_V = h_V(T_1 - T_0) \quad (20)$$

$$h_1 = \frac{N_A}{(T_1 - T_0)} \Delta H_1 \quad (21)$$

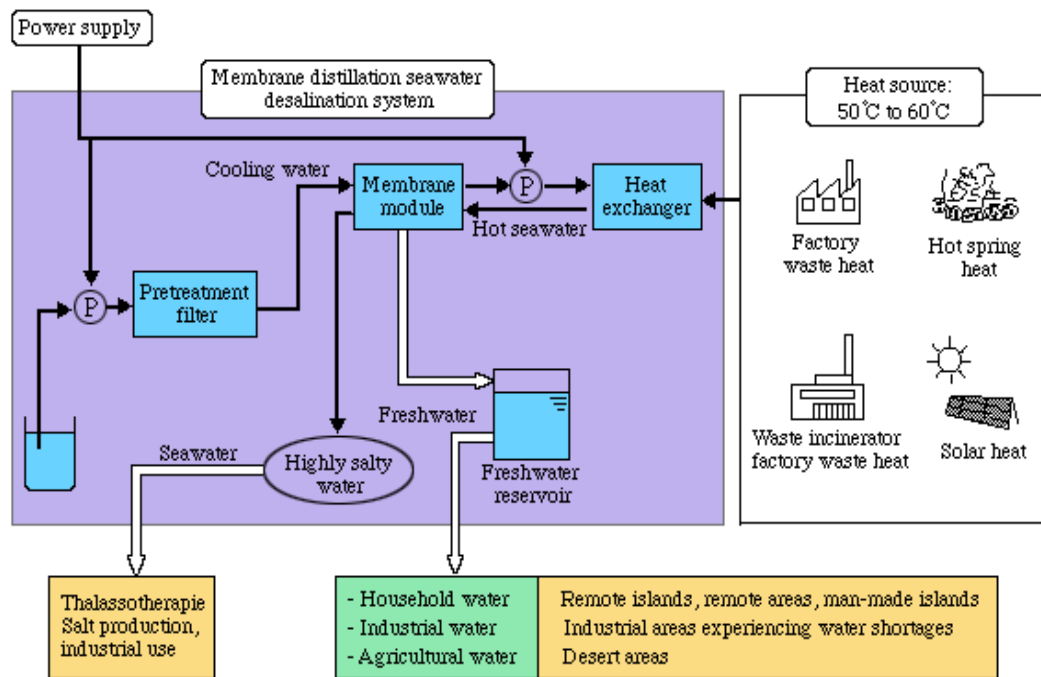
#### 4.3.1.3 Proses distilasi membran lainnya dengan menggunakan Solar Heat

Proses distilasi membran lainnya adalah dengan menggunakan solar heat sebagai energi panasnya, diharapkan dapat lebih menghemat energi, dan dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Distilasi Membran menggunakan Solar Heat





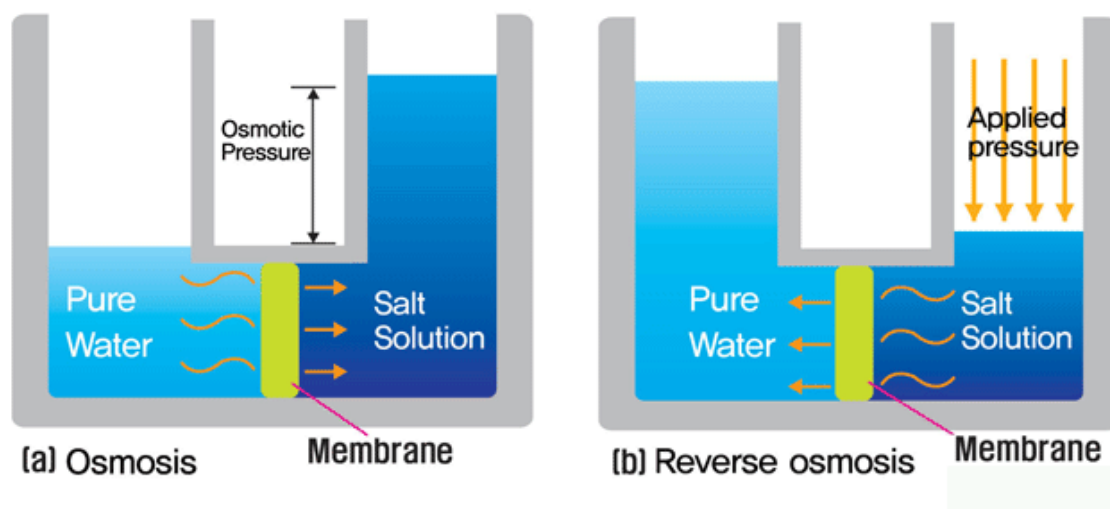
**Gambar 4.8 Proses Desalinasi Air Laut dengan Distilasi Membran  
(Sumber energi panas dari berbagai sumber panas)**

#### 4.3.2 Osmosis balik

Osmosis balik atau RO merupakan proses pemisahan zat-zat terlarut dengan memberikan tekanan (lebih tinggi daripada tekanan osmosis) pada larutan umpan, sehingga pelarut air dapat melewati membran ke sisi yang lebih encer. Ini merupakan proses fisis yang memisahkan zat terlarut dari pelarutnya. Garam-garam yang tidak dapat melintasi membran disebut aliran rejeksi. Teknologi RO mulai berkembang secara komersial sejak tahun 1960, yaitu desalinasi air payau (Perry, 1973). Dengan membrane RO ini secara teknis dimungkinkan untuk memproduksi air tawar dari air laut, setelah perlakuan awal yang memadai. Masalah yang dihadapi pada proses RO adalah bagaimana memproduksi membran dengan kemampuan menahan zat terlarut tinggi dengan flux air tinggi, karena semakin tipis membran (untuk menaikkan permeabilitas air) maka membran tersebut semakin rapuh. Kelemahan lain dari membran RO adalah retensi terhadap  $Cl^-$  buruk, sehingga untuk air laut dengan kandungan  $NaCl$  tinggi bagi proses pemekatan cocok dengan menggunakan ED (Hartomo, 1994).

Secara umum proses RO dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu ; RO tekanan tinggi (50 - 100 bar), RO tekanan rendah (15 - 40 bar), dan Nanofiltrasi atau *Loose Reverse Osmosis* (3 - 15 bar). RO tekanan tinggi dapat digunakan untuk

proses-proses yang menghasilkan rejeksi sangat tinggi terhadap zat-zat anorganik (bisa mencapai 99,9% rejeksi) dan rejeksi menengah sampai tinggi dari zat organik berberat molekul rendah. RO tekanan rendah biasanya digunakan untuk konsentrasi umpan yang lebih rendah seperti air payau dengan rejeksi berkisar antara 90-99%. Sementara itu Nanofiltrasi lebih diprioritaskan untuk ion bervalensi dua atau lebih. Gambar skematik aliran larutan garam pada RO dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4.9 Skematik Aliran larutan garam pada proses RO**

Reverse osmosis adalah proses pemisahan dengan membran berdasarkan gaya dorong tekanan, digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya.

Pada akhir tahun 1940, peneliti mulai pengujian cara mendapatkan air murni dari air laut atau air yang mengandung garam. Sepanjang masa Kennedy, Konversi air bersifat garam adalah suatu teknologi prioritas tertinggi serta “pergi ke bulan dan membuat padang pasir bunga” menjadi semboyan. Didukung Oleh pemerintah pusat dan badan pembiayai, sejumlah peneliti yang dengan cepat mengedepankan ilmu pengetahuan dan teknologi konversi air laut, tetapi UCLA membuat suatu terobosan penting di tahun 1959 dan menjadi yang pertama untuk mempertunjukkan suatu proses praktis yang dikenal sebagai Reverse Osmosis. Pada waktu itu, Samuel Yuster dan dua siswanya, Sidney Loeb dan Srinivasa Sourirajan, memproduksi

suatu buatan membran Reverse Osmosis dari bahan kimia untuk cat/kertas asam cuka polymer. Membran yang baru adalah untuk mampu membuang garam dan menghantar air bersih pada laju alir normal dan tekanan realistis, membran Reverse osmosis nya juga tahan lama, dan bisa dibentuk dalam berbagai bentuk wujud geometris. Dampak dari penemuan ini telah dirasakan di seluruh dunia, dari aplikasi di deminiralisasi rumahan sampai ke ” sungai dari air bersih” di timur tengah dan Afrika Utara, dimana fasilitas Reverse Osmosis menghasilkan trilyunan galon air murni reverse osmosis tiap hari. Sekitar 60 persen kapasitas reverse osmosis dunia terletak di Semenanjung Arab.

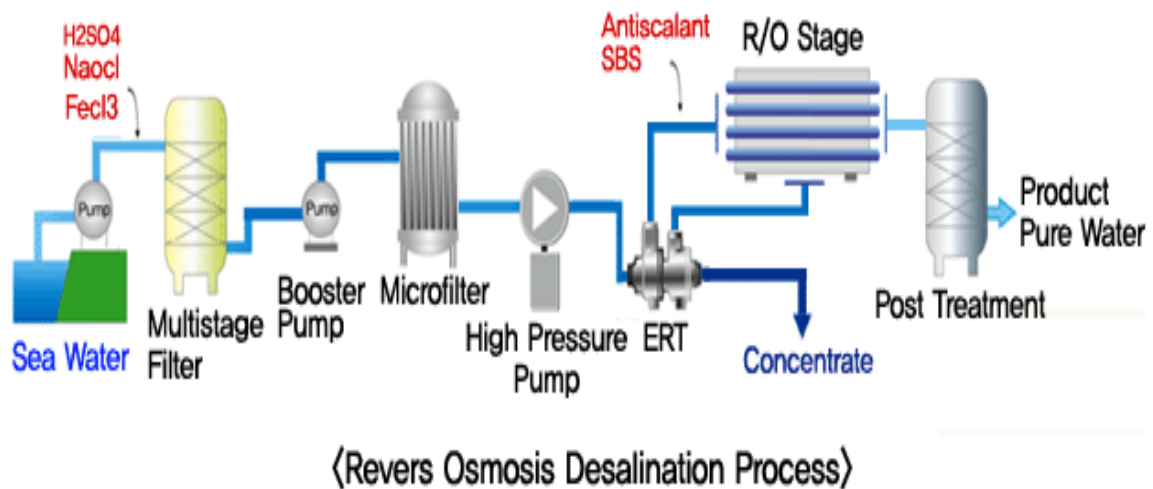
## **7. Aplikasi reverse osmosis**

Teknologi Reverse Osmosis ini telah digunakan untuk menyaring air laut menjadi air murni sejak tahun 1970. Dan di Amerika sudah sejak lama digunakan di rumahan. Selain itu Reverse osmosis juga digunakan dalam beberapa proses campuran air di dalam pabrik yang memproduksi makanan dan minuman (Ref. Wikipedia). Produsen Minuman sirup juga memanfaatkan teknologi Reverse Osmosis. Beberapa pengusaha aquarium juga menggunakan Reverse Osmosis sebagai filter air dan juga untuk meningkatkan pertumbuhan ikan.

## **8. Keunggulan Reverse Osmosis**

Keunggulan RO yang paling superior dibandingkan metode-metode pemisahan lainnya yaitu kemampuan dalam memisahkan zat-zat dengan berat molekul rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa. Keunggulan lain dari RO ini yaitu tidak membutuhkan zat kimia, dapat dioperasikan pada suhu kamar, dan adanya penghalang absolut terhadap aliran kontaminan, yaitu membran itu sendiri. Selain itu, ukuran penyaringannya yang mendekati pikometer, juga mampu memisahkan virus dan bakteri. Teknologi RO cocok digunakan dalam pemurnian air minum dan air buangan. Di bidang industri, teknologi RO dapat digunakan untuk memurnikan air umpan boiler. Selain itu, Karena kemampuannya dalam memisahkan garam-garaman, teknologi *reverse osmosis* cocok digunakan dalam pengolahan air laut menjadi air tawar (desalinasi).

## 9.Desalinasi Air Laut dengan proses Membran Reverse Osmosis

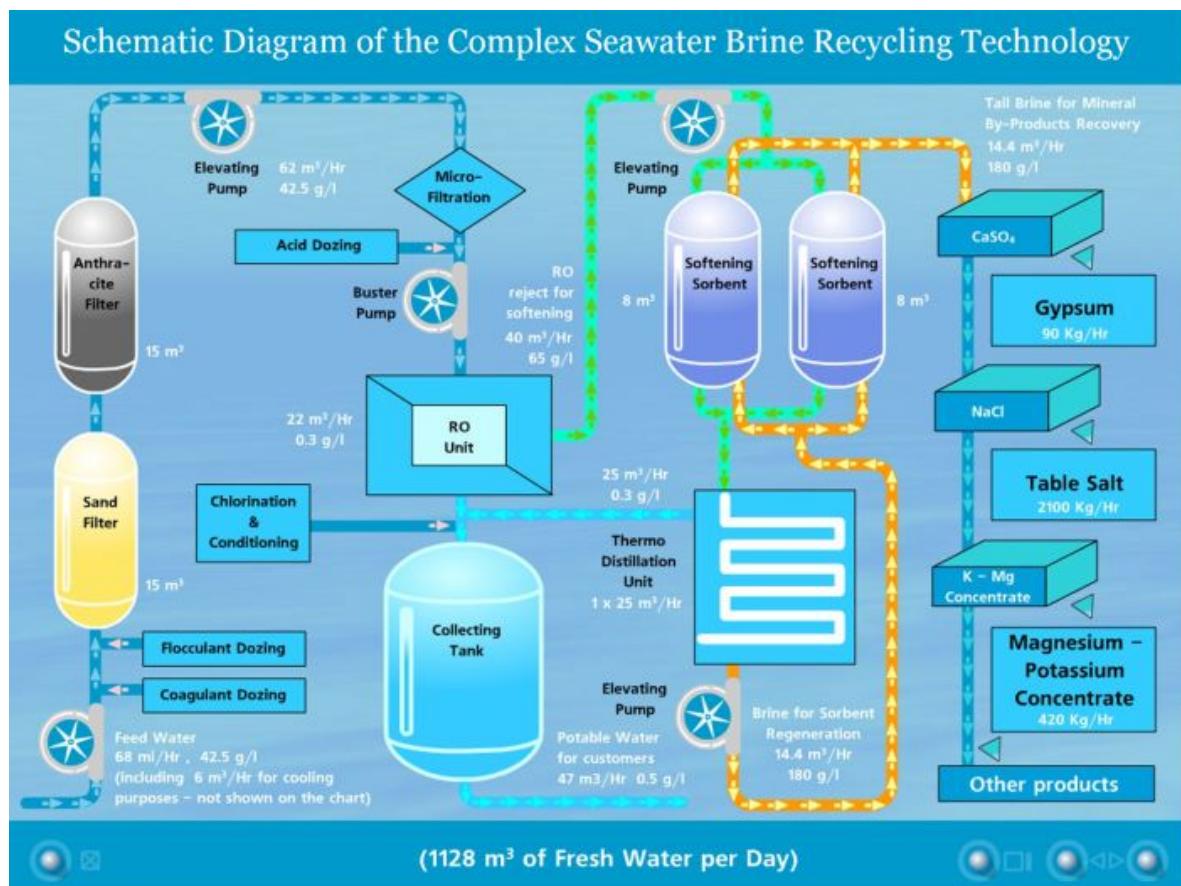


**Gambar 4.10 Desalinasi dengan Proses Reverse Osmosis**  
(Wikipedia, 2008)

Karena kemampuannya dalam memisahkan garam-garam, teknologi *reverse osmosis* cocok digunakan dalam pengolahan air laut menjadi air tawar (desalinasi). Pengolahan ini terdiri dari beberapa tahap:

- 1) **Pre-treatment** untuk memisahkan padatan-padatan yang terbawa oleh umpan. Padatan-padatan tersebut jika terakumulasi pada permukaan membran dapat menimbulkan *fouling*. Pada tahap ini pH dijaga antara 5,5-5,8.
- 2) **High pressure pump** digunakan untuk memberi tekanan kepada umpan. Tekanan ini berfungsi sebagai *driving force* untuk melawan gradien konsentrasi. Umpan dipompa untuk melewati membran. Keluaran dari membran masih sangat korosif sehingga perlu diremineralisasi dengan cara ditambahkan kapur atau  $CO_2$ . Penambahan kapur ini juga bertujuan menjaga pH pada kisaran 6,8-8,1 untuk memenuhi spesifikasi air minum.
- 3) **Disinfection** dilakukan dengan menggunakan radiasi sinar UV ataupun dengan cara klorinasi. Sebenarnya, penggunaan RO untuk desalinasi sudah cukup jitu untuk memisahkan virus dan bakteri yang terdapat dalam air. Namun, untuk memastikan air benar-benar aman (bebas virus dan bakteri), *disinfection* tetap dilakukan.

**10. Proses Desalinasi Air Laut dengan Membran Reverse Osmosis, dengan menghasilkan produk yang cukup kloppeks**



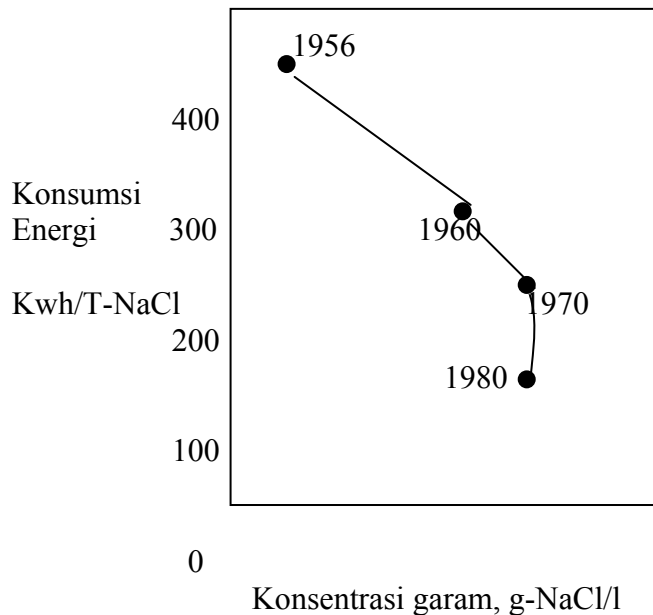
**Gambar 4.11 Desalinasi Air Laut dengan Membran Reverse Osmosis, menghasilkan banyak produk**

### 4.3.3 Elektrodialisis

Elektrodialisis (ED) adalah proses pemisahan secara elektrokimia dengan ion-ion berpindah melintasi membran selektif anion dan kation dari larutan encer ke larutan yang lebih pekat akibat aliran arus listrik searah. Arus listrik searah atau DC dapat diperoleh dari arus AC menjadi DC menggunakan suatu konverter.

Untuk desalinasi air laut dengan menggunakan ED, energi yang diperlukan untuk memisahkan ion cukup tinggi, karena jumlah energi yang diperlukan sebanding dengan jumlah garam yang akan dipisahkan, sehingga untuk desalinasi air laut yang jumlah kandungan garamnya tinggi maka dengan menggunakan ED biaya yang diperlukan cukup tinggi. Tapi dari gambar 4.12 kemungkinan untuk menggunakan ED untuk desalinasi air laut banyak memberikan harapan, karena

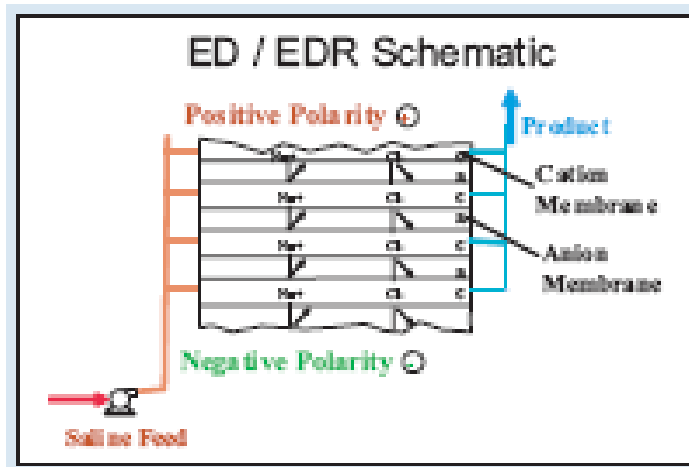
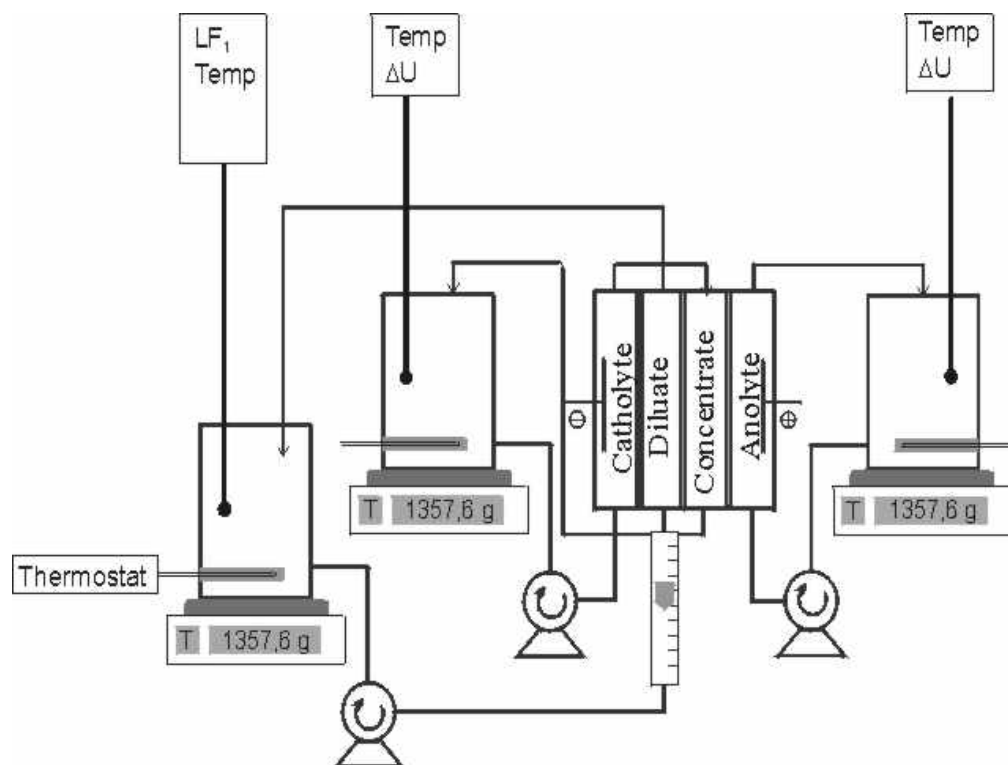
pemakaian energi (Kwh) untuk setiap Ton NaCl dalam setiap tahunnya semakin menurun dan ditunjang dengan diperolehnya membran penukar ion yang mempunyai sifat dapat menurunkan pemakaian energi. Antara lain sifat-sifat tersebut adalah, mempunyai tahanan listrik rendah, bilangan transport tinggi dan permeasi dari solut dan solvent rendah.



**Gambar 4.12 Kemajuan Teknologi pada proses Elektrodialisis dalam pemekatan air laut (Toshikatsu Sata, 1996)**

Penggunaan ED pertamakali oleh Schwein pada tahun 1900 untuk purifikasi ekstrak gula, kemudian proses ED mulai populer setelah tahun 1970 yang banyak dipergunakan untuk penawaran air payau (Sidney, 1962). ED ialah proses pemisahan elektrokimia dengan ion-ion berpindah melintasi membran selektif anion dan kation dari larutan encer ke larutan yang lebih pekat akibat aliran arus listrik searah (DC). Studi tentang ED yang dilakukan di Jerman mulai dilakukan pada awal abad ini (1924) menggunakan sel tunggal dan tanpa menggunakan membran permeabel, kemudian Manegold dan Kalauch mengusulkan penggunaan membran kation dan anion (1939), dan oleh Meyer dan Strauss (1940) dikenalkan susunan multi sel antara sepasang electrode (Baker 1991). Pada tahun 1960 di Amerika dicoba memproduksi air tawar dari air payau dengan ED, dan dengan menggunakan ED juga di Jepang dicoba memproduksi garam meja dari air laut (Horie, 1993).

#### 4.3.3.1 Proses desalinasi dengan membran Elektrodialisis



#### **1.4 Latihan 1**

Berilah tanda silang pada huruf B jika pernyataan di bawah ini Benar dan huruf S jika pernyataan Salah

- 1). B - S Desalinasi air laut adalah pengambilan atau pengurangan garam yang terlarut dalam air laut
- 2). B - S Ada 3 cara proses desalinasi yaitu, Distilasi, Evaporasi dan dengan membran
- 3). B - S Kelemahan Teknologi membran dengan proses pemisahan lainnya adalah di antaranya hemat energi, bersih, relatif tidak menimbulkan limbah dan kemampuannya untuk memisahkan larutan-larutan yang peka terhadap suhu.
- 3). B - S Terdapat lima golongan membran berdasarkan struktur dan prinsip pemisahannya.
- 4). B - S Keunggulan pada proses desalinasi dengan menggunakan membran adalah pada penggunaan dan pemilihan membran yang tepat dan terjadinya *fouling* dan polarisasi konsentrasi serta umur membran
- 5). B - S Proses desalinasi air laut dengan cara distilasi merupakan cara lama yang membutuhkan banyak energi, karena terjadi perubahan fase yang banyak membutuhkan kalor.
- 6). B - S Tujuan evaporasi ialah untuk pemisahan pelarut dari larutan untuk memperoleh larutan yang lebih pekat. Dalam kebanyakan proses evaporasi pelarutnya adalah bukan air.
- 7). B - S Osmosis balik atau RO merupakan proses pemisahan zat-zat terlarut dengan memberikan tekanan (lebih tinggi daripada tekanan osmosis) pada larutan umpan, sehingga pelarut air dapat melewati membran ke sisi yang lebih encer.
- 8). B - S Adanya *fouling* pada permukaan membran dan polarisasi konsentrasi dapat menyebabkan rendahnya laju difusi melewati membran sehingga sangat berpengaruh pada hasil akhir yang diinginkan.
- 9). B - S ED ialah proses pemisahan elektrokimia dengan ion-ion berpindah melintasi membran selektif anion dan kation dari larutan encer ke larutan yang lebih pekat akibat aliran arus listrik searah (DC).
- 10). B - S Untuk desalinasi air laut dengan menggunakan ED, energi yang diperlukan untuk memisahkan ion cukup tinggi, karena jumlah energi yang diperlukan sebanding dengan jumlah garam yang akan dipisahkan, sehingga untuk



desalinasi air laut yang jumlah kandungan garamnya tinggi maka dengan menggunakan ED biaya yang diperlukan cukup tinggi.

### **1.5 Rangkuman**

Desalinasi adalah proses pengurangan kadar garam dari dalam suatu larutan, dan desalinasi air laut adalah pengurangan kadar garam dari air laut. Ada 3 proses desalinasi yang dikenal, yaitu dengan cara distilasi, evaporasi dan proses membran. Untuk proses desalinasi membran ada 3 jenis yaitu ; Reverse Osmosis, Distilasi Membran dan Elektrodialisis.

### **1.6. Tes Formatif 1**

Lingkarilah a, b, c, d pada jawaban yang saudara anggap paling benar.

- 1). Teknologi desalinasi dengan cara ; a. Distilasi, b. Membran, c. Evaporasi biasanya memerlukan energi yang sangat besar untuk perubahan fase
- 2). Proses yang menggunakan membran mempunyai kelemahan antara lain ; a. Konsentrasi polarisasi, b. Menghasilkan limbah, c. Mudah Rusak
- 3). *Fouling* didefinisikan sebagai deposisi irreversibel dari partikel yang tertahan pada atau di dalam pori membran dan akan merusak daya hantar membran tersebut, sehingga dapat menyebabkan hambatan transport ion melewati permukaan membran, tapi biasanya tidak terjadi pada membran ; a. Reverse Osmosis b. Elektrodialisis, c. Distilasi Membran
- 4). Untuk desalinasi Air Payau dengan membran maka yang ter-unggul adalah menggunakan ; a. Reverse Osmosis, b. Elektrodialisis, c. Distilasi Membran
- 5). Salah satu keunggulan proses menggunakan membran adalah ; a. Hemat energi, b. Rumit, c. Mahal

### **1.7 Umpan balik dan Tindak Lanjut**

Cocokkanlah jawaban saudara dengan kunci Tes Formatif yang ada dibagian akhir modul ini, hitunglah jumlah jawaban saudara yang benar, kemudian gunakan rumus dibawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan saudara terhadap materi kegiatan 1.

Rumus :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban saudara yang benar}}{5} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang saudara capai :

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

-69% = kurang

Kalau saudara mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, saudara dapat meneruskan dengan kegiatan 2, Bagus., tetapi bila kurang dari 80%, saudara harus mengulang kegiatan belajar 1, terutama bagian yang saudara belum kuasai.

## **BAB 5**

### **CONTOH PENELITIAN : PENGURANGAN PENGGUNAAN ENERGI PADA DESALINASI AIR PAYAU DENGAN MEMBRAN ELEKTRODIALISIS**

#### **Pokok Bahasan :**

Pada bab ini diberikan contoh tentang penelitian desalinasi air laut yang menggunakan membran elektrodialisis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi besarnya penggunaan energi pada desalinasi air laut menggunakan membran elektrodialisis. Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu ; pertama dilakukan desalinasi air payau kemudian dilanjutkan dengan desalinasi air laut.

#### **Tujuan Instruksional, pembaca diharapkan :**

1. Memahami cara mengurangi besarnya energi desalinasi air payau dengan membran elektrodialisis dapat dikurangi
2. Memahami bahwa desalinasi air payau dengan menggunakan membran elektrodialisis cukup efisien
3. Mengetahui mekanisme pengurangan energi pada desalinasi air payau dengan membran elektrodialisis
4. Memahami kerja salah satu proses membran pada proses desalinasi air payau

#### **5.1 Latar Belakang**

Untuk desalinasi air laut dengan menggunakan ED, energi yang diperlukan untuk memisahkan ion cukup tinggi, karena jumlah energi yang diperlukan sebanding dengan jumlah garam yang akan dipisahkan, sehingga untuk desalinasi air laut yang jumlah kandungan garamnya tinggi maka dengan menggunakan ED biaya yang diperlukan cukup tinggi. Permasalahan yang timbul adalah tidak feasibelnya ED bila dipergunakan untuk desalinasi air laut dalam hal besarnya energi yang diperlukan, karena energi diperlukan antara lain untuk menggerakkan ion dari larutan, sehingga untuk air laut yang mempunyai TDS sangat tinggi yaitu kandungan garamnya tinggi, akan membutuhkan arus listrik cukup besar. Upaya untuk mendapatkan proses pemisahan dengan energi yang rendah, adalah merupakan suatu phenomena yang masih banyak membutuhkan penelitian (Toshikatsu Sata, 1996).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengurangan pemakaian energi pada proses desalinasi air payau dengan ED yaitu dengan cara mengurangi hal-hal yang menyebabkan energi menjadi tinggi antara lain: tahanan listrik harus cukup rendah, adanya fouling dan konsentrasi dikurangi.

## **5.2 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

### **5.2.1 TUJUAN**

Penelitian kajian pengurangan penggunaan energi pada desaliansi air payau dengan elektrodialisis diarahkan untuk melakukan identifikasi parameter yang berperan pada pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air payau menjadi air tawar dengan Elektrodialisis, dan mempelajari mekanisme pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air payau dengan membran Elektrodialisis.

### **5.2.2 MANFAAT PENELITIAN**

- a. Kebutuhan air bersih makin lama makin susah didapatkan, karena sumber air tawar semakin sulit diperoleh, pengolahan air bersih dengan memanfaatkan air sungai semakin mengalami banyak hambatan dengan tercemarnya air sungai. Pencemaran air sungai ini terjadi dari berbagai sumber, terutama yang sekarang sedang banyak diteliti adalah pencemaran limbah industri, maka proses desalinasi air payau menjadi alternatif untuk menghasilkan air bersih.

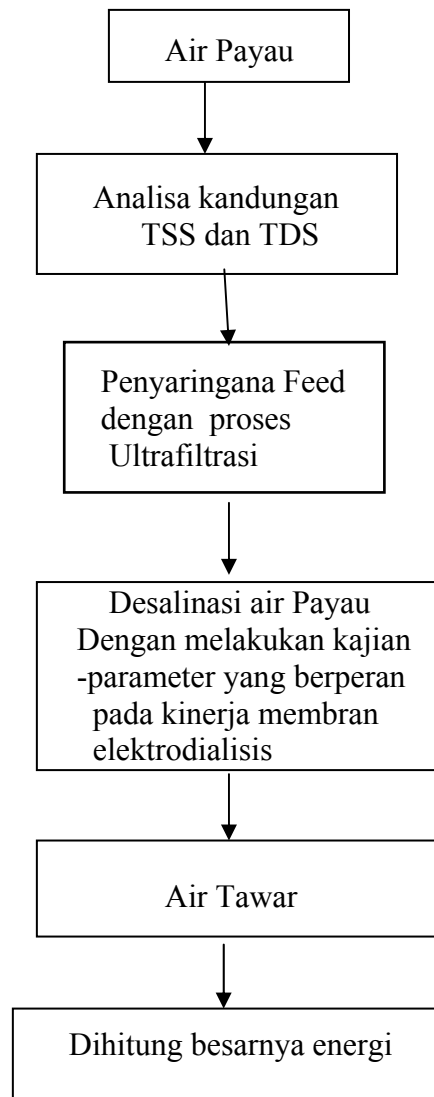
- b. Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari pulau-pulau yang dikelilingi lautan serta mempunyai kekayaan alam yang berlimpah dan merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Kepulauan Indonesia terbentang dari Barat ke Timur sepanjang 5110 km, yang terdiri dari daratan 1,4 juta km (26%) dan lautan 5,4 juta km (74%). Wilayah Indonesia mempunyai pantai yang terpanjang di dunia yaitu 81.497 km, atau dua kali panjang keliling bumi, dan berada di sekeliling ekuator yang berarti beriklim tropis. Kandungan air laut adalah 96,5% air dan 3,5% garam-garam mineral (Nybakken, 1992).
- c. Ada beberapa metode desalinasi air payau yang banyak digunakan saat ini antara lain dengan cara distilasi, evaporasi dan desalinasi dengan menggunakan membran yaitu *reverse osmosis* (RO), distilasi membran dan elektrodialisis (ED).
- Teknologi desalinasi dengan cara distilasi biasanya memerlukan energi yang sangat besar untuk perubahan fase. Harga energi yang terus meningkat menyebabkan proses tersebut menjadi tidak kompetitif. Sementara itu teknologi membran pada saat ini sedang berkembang dengan pesatnya, hal ini disebabkan karena kegunaannya yang strategis pada proses pemisahan. Dibandingkan teknologi pemisahan lainnya, teknologi membran menawarkan keunggulan seperti pemakaian energi yang rendah, sederhana dan ramah lingkungan (Hartomo, 1991).
- d. Perlu dicatat juga bahwa, saat ini ada kecenderungan menurunnya harga membran dari tahun ke tahun sehingga biaya desalinasi dengan membran menjadi ekonomis (Nur Rahayu, 1999) sehingga kemungkinan untuk menggunakan Elektrodialisis untuk desalinasi air laut banyak memberikan harapan, karena pemakaian energi (Kwh) untuk setiap Ton NaCl dalam setiap tahunnya semakin menurun dan ditunjang dengan diperolehnya membran penukar ion yang mempunyai sifat dapat menurunkan pemakaian energi. Antara lain sifat-sifat tersebut adalah, mempunyai tahanan listrik rendah, bilangan transport tinggi dan permeasi dari solut dan solvent rendah.

### 5.3 METODE PENELITIAN

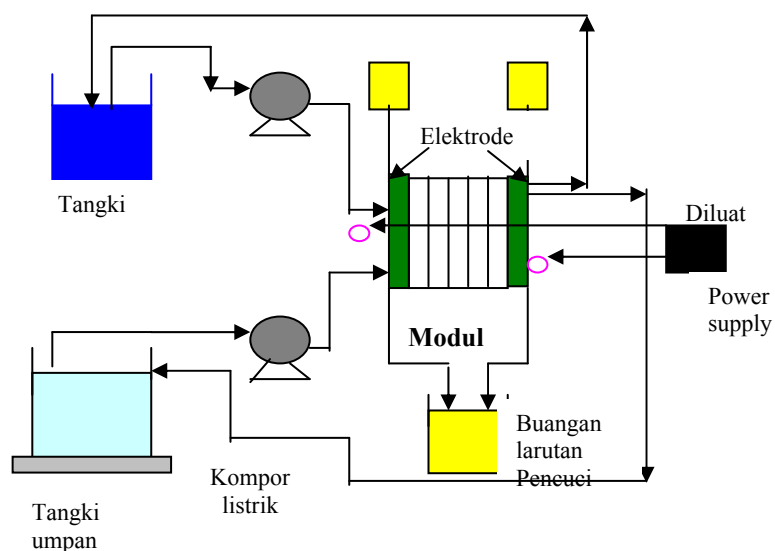
Metode penelitian Kajian pengurangan penggunaan energi pada proses desalinasi air payau untuk menghasilkan air tawar dengan membran Elektrodialisis adalah metode penelitian laboratorium dengan tahapan penelitian sebagai berikut :

- a. **Judul** : Desalinasi air payau dengan membran Elektrodialisis untuk menghasilkan air tawar.
- b. **Tujuan** : untuk mendapatkan air tawar dari air payau dan parameter yang berpengaruh pada kinerja alat membran elektrodialisis.
- c. **Lokasi** : di sekitar kampus UPN “Veteran” Jawa Timur.
- d. **Teknik Pengumpulan data** : data-data yang diperlukan dalam hal ini adalah :
  - 1. Tahap Persiapan, dilakukan perhitungan arus batas ,  $I_{lim}$  untuk berbagai konsentrasi larutan NaCl sintetis, karena diharapkan dapat mewakili sifat-sifat dari air payau.
  - 2. Prosedur penentuan konsentrasi air tawar dengan menggunakan alat konduktivimeter.
- e. **Cara analisis data** :
  - 1. Pemeriksaan sampel air payau dan hasil air tawar di Laboratorium TAKI (Team Afiliasi dan Konsultasi Industri) ITS Surabaya.
  - 2. Pemeriksaan hasil diluat dan konsentrat dilakukan dengan menggunakan alat konduktivimeter dengan membuat terlebih dahulu kurva kalibrasinya.

## FLOWCHART METODE PENELITIAN



## Skema Alat Percobaan



**Gambar 5.1 Skema Alat Desalinasi dengan Proses Elektrodialisis**

### Prosedur percobaan :

#### 1. Persiapan awal

- Pastikan power supply sudah tersambung dengan sumber utama listrik dengan baik
- Pastikan pompa-pompa telah tersambung dengan power supply dan speed control dengan baik
- Isi masing-masing tangki umpan dengan larutan yang sesuai perlakuan
- Pastikan tidak ada kebocoran pada unit ED, apabila terjadi kebocoran segera perbaiki.
- Pastikan sistem perpipaan ke dan dari sistem ED sudah terpasang dengan baik
- Pastikan elektroda-elektroda pada unit ED telah tersambung dengan power supply dengan baik.

#### 2. Prosedur pengoperasian alat power supply

- Posisikan power supply pada kondisi ON
- Atur laju alir sesuai perlakuan
- Atur voltase pada power supply sesuai diinginkan



### 3. Langkah-langkah percobaan

- a. Pertamkali air payau atau air laut disaring dari kandungan kotoran-kotoran yang terikut
- b. Dilakukan perlakuan awal terhadap air laut dengan menggunakan UF
- c. Kemudian larutan dialirkan ke modul membran masing-masing yaitu dari tangki konsentrat, tangki feed dan pencuci elektrode, dengan menggunakan pompa, laju alir diatur sesuai variasi yang diinginkan. Dilakukan pengaliran arus listrik searah, sehingga ion positif dapat ditarik lewat membran kation ke elektrode negatif, ion negatif bergerak dalam arah yang berlawanan lewat membran anion. Aliran feed akan berkurang kadar garamnya dan keluar berupa produk (diluut) air tawar, sedang konsentrat akan keluar melalui lubang konsentrat menuju tangki konsentrat. Dilakukan balikan kutub setiap 15 menit dan pencucian elektrode dengan menggunakan asam sitrat.
- d. Hasil yang diperoleh di tampung dan dianalisis

## 5.4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kandungan Air Payau yang Terdapat pada Kampus UPN Jawa Timur

**Tabel 5.1 Kandungan air payau**

| No. | Parameter    | Satuan | Hasil Analisa |
|-----|--------------|--------|---------------|
| 1.  | Merkury (Hg) | mg/l   | 0,0000        |
| 2.  | Timbal (Pb)  | mg/l   | 0,1182        |
| 3.  | Cadmium (Cd) | mg/l   | 0,0000        |
| 4.  | Krom Total   | mg/l   | 0,0156        |
| 5.  | Tembaga (Cu) | mg/l   | 1,3550        |
| 6.  | TSS          | mg/l   | 235           |
| 7.  | TDS          | mg/l   | 9300          |

#### 5.4.1 Perlakuan awal Air laut dengan menggunakan Ultrafiltrasi

Membran Ultrafiltrasi memiliki ukuran pori antara 0,02-10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10-150 m. Ultrafiltrasi digunakan pada berbagai macam aplikasi di Industri, terutama untuk pemisahan partikel berukuran  $>0,1 \mu\text{m}$  dari larutannya. Membran ini dapat menahan koloid, mikroorganisme dan suspended solid.

Hasil yang diperoleh adalah dapat mengurangi kandungan TSS menjadi 50 mg/l

#### 5.4.2 Proses desalinasi air payau dengan berbagai perlakuan secara konvensional.

Untuk membandingkan apakah terjadi pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air payau dalam penelitian ini, maka dilakukan desalinasi secara konvensional sebagai pembandingnya (kontrol).

**Tabel 5.2 Hasil Desalinasi air payau secara konvensional untuk konsentrasi 10.000 ppm,  $T=25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.000            | 10.000   | 3,2           |
| 15            | 8.700             | 8.800    | 3             |
| 30            | 7.200             | 7.500    | 3             |
| 45            | 6.500             | 6.700    | 2,8           |
| 60            | 5.800             | 5.900    | 2,5           |
| 75            | 5.500             | 5.100    | 2,5           |
| 90            | 5.100             | 4.800    | 2             |
| 120           | 4.900             | 4.700    | 2             |

**Tabel 5.3 Hasil Desalinasi Air Payau secara konvensional untuk konsentrasi 10.000 ppm,  $T = 30^{\circ}\text{C}$  pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt.**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 10.000            | 10.000   | 3,1           |
| 15    | 8.100             | 8.400    | 3,1           |
| 30    | 7.500             | 7.300    | 3,0           |
| 45    | 6.400             | 6.500    | 3,0           |
| 60    | 5.800             | 5.800    | 2,7           |
| 75    | 5.600             | 4.900    | 2,4           |
| 90    | 4.700             | 4.500    | 2             |
| 120   | 4.600             | 4.200    | 2             |

**Tabel 5.4 Hasil Desalinasi Air Payau secara konvensional untuk konsentrasi 10.000 ppm,  $T = 35^{\circ}\text{C}$  pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt.**

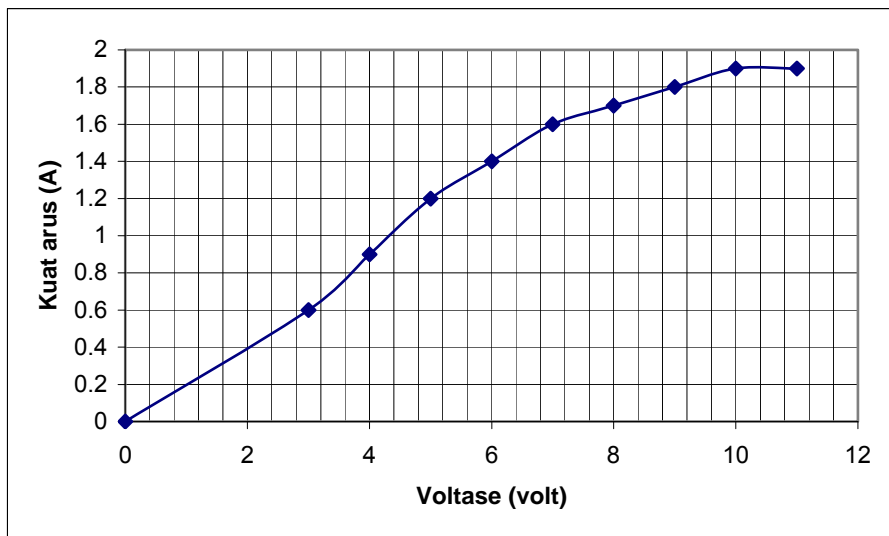
| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 10.000            | 10.000   | 3             |
| 15    | 8.500             | 9.100    | 3             |
| 30    | 7.900             | 8.200    | 2,5           |
| 45    | 7.100             | 7.500    | 2,5           |
| 60    | 6.700             | 6.300    | 2             |
| 75    | 5.400             | 5.400    | 2             |
| 90    | 5.100             | 5.100    | 2             |
| 120   | 4.500             | 4.200    | 2             |

#### 5.4.3 Perhitungan arus batas dan voltase batas

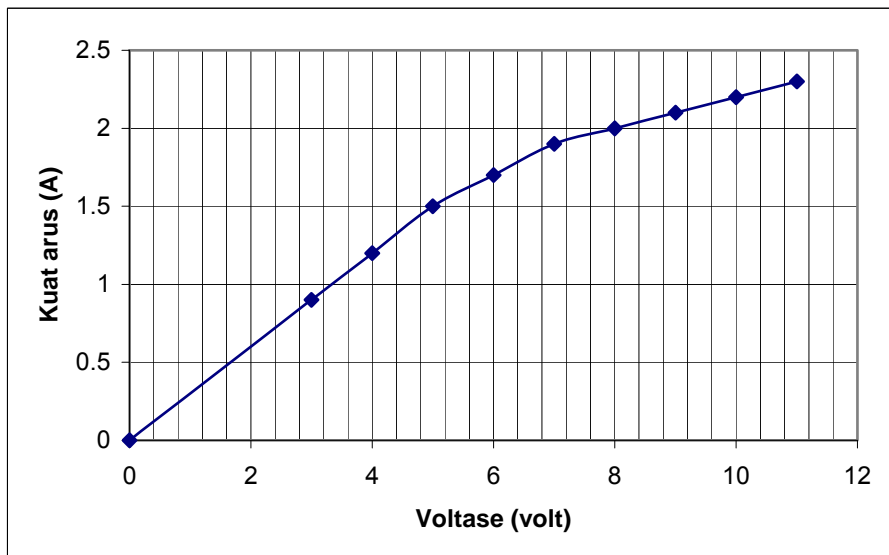
Dari pengukuran antara besarnya voltase dan arus untuk masing-masing perlakuan, maka dibuat gambar grafiknya. Dari gambar grafik dihitung masing-masing besarnya arus batas, dan dibuat dalam suatu tabel berikut.

**Tabel 5.5 Data percobaan voltase vs kuat arus untuk konsentrasi 10.000 ppm untuk ; $T=25^{\circ}\text{C}$  ;  $T=30^{\circ}\text{C}$  ;  $T=35^{\circ}\text{C}$**

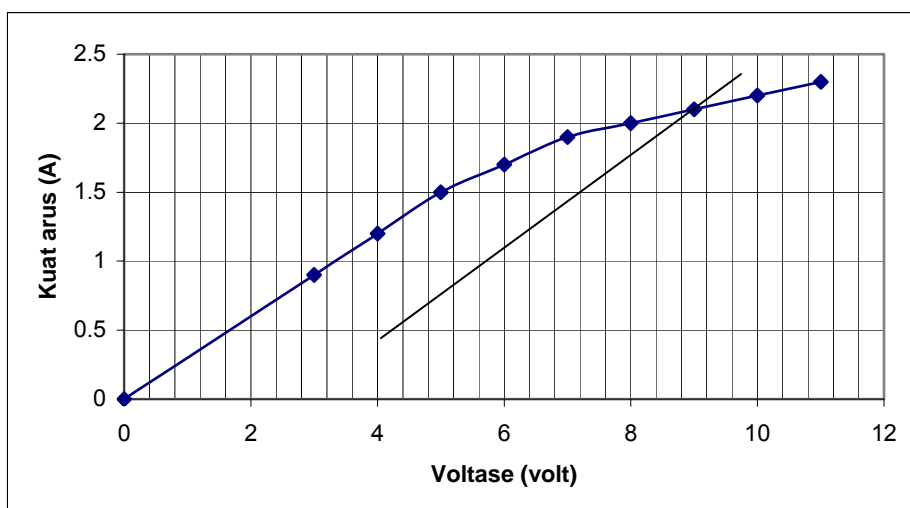
| Voltase (v) | Kuat Arus (A)<br>$T=25^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=30^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=35^{\circ}\text{C}$ |
|-------------|---|---|---|
| 0           | 0                                       | 0                                       | 0                                       |
| 3           | 0,6                                     | 1,1                                     | 0,9                                     |
| 4           | 0,9                                     | 1,4                                     | 1,2                                     |
| 5           | 1,2                                     | 1,6                                     | 1,5                                     |
| 6           | 1,4                                     | 1,7                                     | 1,7                                     |
| 7           | 1,6                                     | 1,9                                     | 1,9                                     |
| 8           | 1,7                                     | 2                                       | 2                                       |
| 9           | 1,8                                     | 2                                       | 2,1                                     |
| 10          | 1,9                                     | 2,1                                     | 2,2                                     |
| 11          | 1,9                                     | 2,1                                     | 2,3                                     |



**Gambar 5.2** Konsentrasi 10.000 ppm,  $T = 25^{\circ}\text{C}$



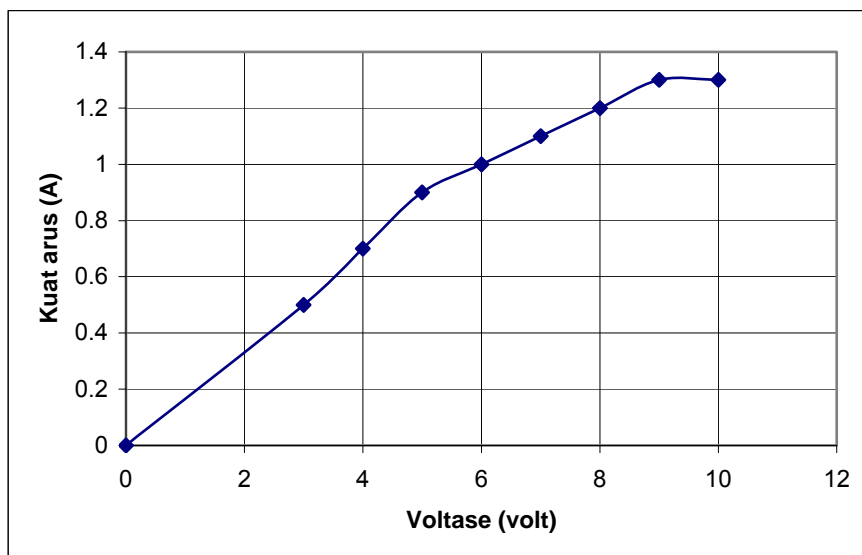
**Gambar 5.3** Konsentrasi 10.000 ppm,  $T = 30^{\circ}\text{C}$



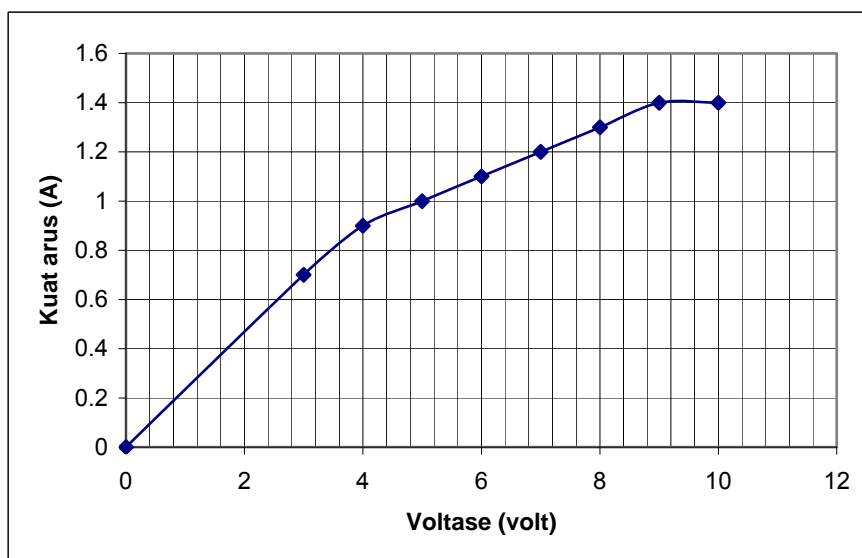
**Gambar 5.4** Konsentrasi 10.000 ppm,  $T = 35^{\circ}\text{C}$

**Tabel 5.6** Data percobaan voltase vs kuat arus untuk konsentrasi 5.000 ppm untuk ;  $T=25^{\circ}\text{C}$  ;  $T=30^{\circ}\text{C}$  ;  $T=35^{\circ}\text{C}$

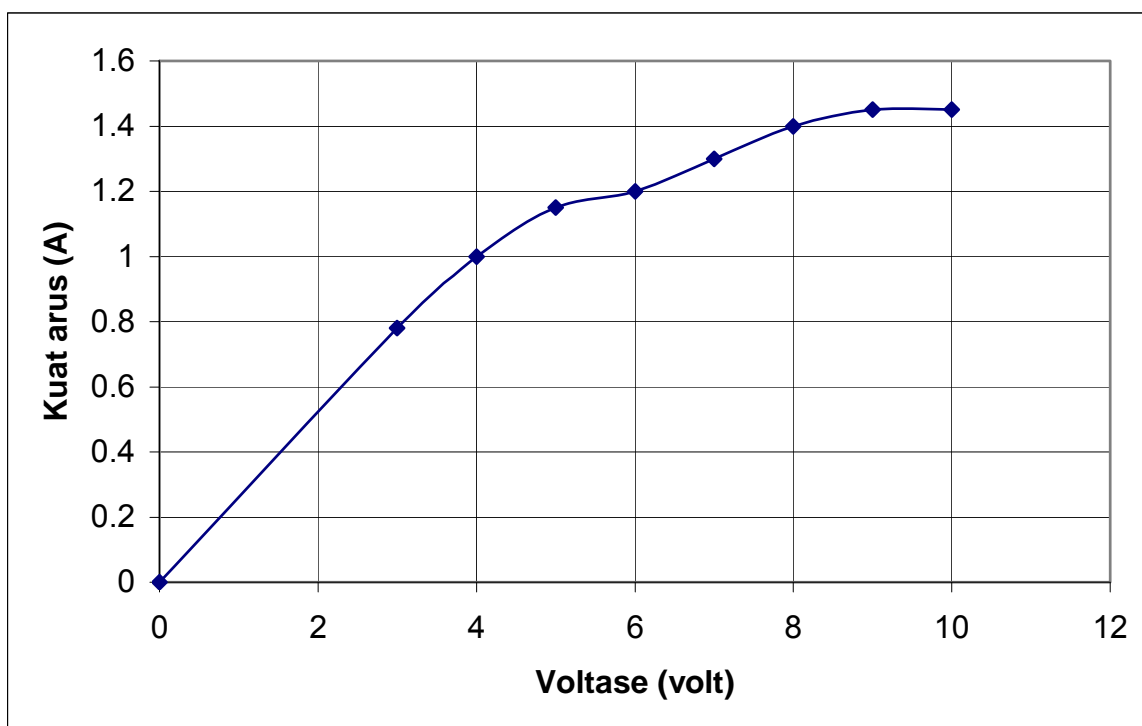
| Voltase (V) | Kuat Arus (A)<br>$T=25^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=30^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=35^{\circ}\text{C}$ |
|-------------|---|---|---|
| 0           | 0                                       | 0                                       | 0                                       |
| 3           | 0,5                                     | 0,7                                     | 0,78                                    |
| 4           | 0,78                                    | 0,9                                     | 1                                       |
| 5           | 0,9                                     | 1                                       | 1,15                                    |
| 6           | 1                                       | 1,1                                     | 1,2                                     |
| 7           | 1,1                                     | 1,2                                     | 1,3                                     |
| 8           | 1,2                                     | 1,3                                     | 1,4                                     |
| 9           | 1,3                                     | 1,4                                     | 1,45                                    |
| 10          | 1,3                                     | 1,4                                     | 1,45                                    |



**Gambar 5.5** Konsentrasi 5.000 ppm,  $T = 25^{\circ}\text{C}$



**Gambar 5.6** Konsentrasi 5.000 ppm,  $T = 30^{\circ}\text{C}$



**Gambar 5.7** Konsentrasi 5.000 ppm,  $T = 35^{\circ}\text{C}$

**Tabel 5.7** Harga  $I_{\text{lim}}$  untuk berbagai konsentrasi garam dan temperatur

| No. | Konsentrasi (ppm) | Arus batas ( $I_{\text{lim}}$ ), A |      |     |
|-----|-------------------|------------------------------------|------|-----|
|     |                   | Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )  |      |     |
|     |                   | 25                                 | 30   | 35  |
| 1.  | 10.000            | 1,8                                | 1,8  | 1,8 |
| 2.  | 5.000             | 1,3                                | 1,38 | 1,4 |

**Tabel 5.8** Harga  $V_{\text{lim}}$  untuk berbagai konsentrasi garam dan temperatur

| No. | Konsentrasi (ppm) | Voltase batas ( $V_{\text{lim}}$ ) (Volt) |     |     |
|-----|-------------------|---|-----|-----|
|     |                   | Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )         |     |     |
|     |                   | 25  | 30  | 35  |
| 1.  | 10.000            | 7,8                                       | 6   | 6   |
| 2.  | 5.000             | 7,2                                       | 6,2 | 5,6 |

#### 5.4.5 Proses Desalinasi air payau

Setelah diperoleh arus batas untuk masing-masing perlakuan, kemudian dilakukan proses Desalinasi air payau untuk masing-masing perlakuan yaitu, untuk perlakuan temperatur dan laju alir. Hasil yang diperoleh dibuat tabel sebagai berikut :

**Tabel 5.9. Hasil Desalinasi Air Payau untuk konsentrasi 10.000 ppm dan temperatur  $T=25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.000            | 10.000   | 2             |
| 15            | 8.400             | 8.600    | 2             |
| 30            | 8.100             | 7.900    | 1,6           |
| 45            | 7.600             | 7.300    | 1,6           |
| 60            | 7.400             | 6.700    | 1,5           |
| 75            | 6.100             | 6.300    | 1,5           |
| 90            | 5.600             | 5.800    | 1,3           |
| 120           | 5.300             | 5.100    | 1,3           |

**Tabel 5.10 Hasil Desalinasi air Payau untuk konsentrasi 10.000 ppm dan temperatur  $T=25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 2.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 5.300             | 5.100    | 1,3           |
| 15            | 4.800             | 4.600    | 1,3           |
| 30            | 4.300             | 4.100    | 1,2           |
| 45            | 3.500             | 3.600    | 1,2           |
| 60            | 2.800             | 2.900    | 1,0           |
| 75            | 2.100             | 2.200    | 1,0           |
| 90            | 1.700             | 1.600    | 1,0           |
| 120           | 1.000             | 1.000    | 1,0           |



**Tabel 5.11 Hasil Desalinasi Air Payau untuk konsentrasi 10.000 ppm dan temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.000            | 10.000   | 2             |
| 15            | 9.200             | 9.100    | 1,8           |
| 30            | 8.200             | 8.000    | 1,8           |
| 45            | 7.500             | 7.100    | 1,6           |
| 60            | 6.600             | 6.100    | 1,6           |
| 75            | 5.800             | 5.700    | 1,4           |
| 90            | 5.100             | 4.900    | 1,4           |
| 120           | 4.900             | 4.700    | 1,4           |

**Tabel 5.12 Hasil Desalinasi Air Payau untuk konsentrasi 10.000 ppm dan temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 2.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 4.900             | 4.700    | 1,4           |
| 15            | 4.200             | 4.100    | 1,4           |
| 30            | 3.400             | 3.300    | 1,3           |
| 45            | 2.700             | 2.500    | 1,3           |
| 60            | 2.200             | 2.000    | 1,3           |
| 75            | 1.700             | 1.500    | 1,2           |
| 90            | 1.400             | 1.300    | 1,2           |
| 120           | 1.000             | 1.000    | 1,0           |

**Tabel 5.13 Hasil Desalinasi Air Payau untuk konsentrasi 10.000 ppm, dan temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$  pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 1**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 10.000            | 10.000   | 2             |
| 15    | 8.500             | 8.000    | 2             |
| 30    | 7.800             | 7.200    | 1,8           |
| 45    | 7.200             | 6.500    | 1,8           |
| 60    | 6.500             | 6.000    | 1,5           |
| 75    | 5.800             | 5.400    | 1,5           |
| 90    | 5.200             | 4.800    | 1,3           |
| 120   | 4.700             | 4.400    | 1,3           |

**Tabel 5.14 Hasil Desalinasi Air Payau untuk konsentrasi 10.000 ppm, dan temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$  pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 4.700             | 4.400    | 1,3           |
| 15    | 3.500             | 3.200    | 1,3           |
| 30    | 3.000             | 2.600    | 1,2           |
| 45    | 2.200             | 2.100    | 1,1           |
| 60    | 1.700             | 1.800    | 1,1           |
| 75    | 1.400             | 1.500    | 1,0           |
| 90    | 1.200             | 1.200    | 1,0           |
| 120   | 1.100             | 1.000    | 1,0           |

#### **5.4.6 Pembahasan :**

Setelah dilakukan proses desalinasi air payau dengan secara konvensional, maka diperoleh besarnya arus yang diperlukan untuk air payau sebesar 10.000 ppm yaitu sekitar 3 A. Kemudian dilakukan perhitungan arus batas untuk air payau sebesar 10.000 ppm dan diperoleh sekitar 2A. Hasil desalinasi air payau dengan menggunakan arus batas dapat dilihat pada tabel 9 hingga tabel 14 dengan perlakuan temperatur  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  dan  $35^{\circ}\text{C}$  dan laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt. Ternyata dengan menggunakan arus batas 2A, dan perlakuan awal menggunakan Ultrafiltrasi dapat diperoleh air tawar dengan konsentrasi 1000 ppm dan terjadi pengurangan penggunaan arus sebesar 40-50%.

#### **5.5 KESIMPULAN**

Besarnya energi listrik yang dipergunakan untuk desalinasi air payau dapat dikurangi hingga 40-50% dan hasil air tawar diperoleh terbaik untuk perlakuan  $30^{\circ}\text{C}$  dan laju alir 10 cm/dt.

## **BAB 6**

### **CONTOH PENELITIAN : DESALINASI AIR LAUT DENGAN MEMBRAN ELEKTRODIALISIS**

#### **Pokok Bahasan :**

Pada bab ini diberikan contoh tentang penelitian desalinasi air laut yang menggunakan membran elektrodialisis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi besarnya penggunaan energi pada desalinasi air laut menggunakan membran elektrodialisis. Penelitian ini adalah penelitian kedua yaitu dilakukan proses desalinasi air laut dengan menggunakan membran elektrodialisis.

#### **Tujuan Instruksional, pembaca diharapkan :**

5. Memahami bahwa besarnya energi desalinasi air laut dengan membran elektrodialisis dapat dikurangi
6. Memahami bahwa desalinasi air laut dengan menggunakan membran elektrodialisis cukup efisien
7. Mengetahui mekanisme pengurangan energi pada desalinasi air laut dengan membran elektrodialisis
8. Memahami kerja salah satu proses membran pada proses desalinasi air laut

## **6.1 Latar belakang**

Permasalahan yang timbul adalah tidak feasibelnya ED bila dipergunakan untuk desalinasi air laut dalam hal besarnya energi yang diperlukan, karena energi diperlukan antara lain untuk menggerakkan ion dari larutan, sehingga untuk air laut yang mempunyai TDS sangat tinggi yaitu kandungan garamnya tinggi, akan membutuhkan arus listrik cukup besar. Upaya untuk mendapatkan proses pemisahan dengan energi yang rendah, adalah merupakan suatu phenomena yang masih banyak membutuhkan penelitian (Toshikatsu Sata, 1996).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengurangan pemakaian energi pada proses desalinasi air laut dengan ED yaitu dengan cara mengurangi hal-hal yang menyebabkan energi menjadi tinggi antara lain: tahanan listrik harus cukup rendah, adanya fouling dan konsentrasi dikurangi.

## **6.2 Tujuan**

Penelitian kajian pengurangan penggunaan energi pada desaliansi air laut dengan elektrodialisis diarahkan untuk melakukan identifikasi parameter yang berperan pada pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air laut menjadi air tawar dengan Elektrodialisis, dan mempelajari mekanisme pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air laut dengan Elektrodialisis.

## **6.3 MANFAAT PENELITIAN**

- a. Kebutuhan air bersih makin lama makin susah didapatkan, karena sumber air tawar semakin sulit diperoleh, pengolahan air bersih dengan memanfaatkan air sungai semakin mengalami banyak hambatan dengan tercemarnya air sungai. Pencemaran air sungai ini terjadi dari berbagai sumber, terutama yang sekarang sedang banyak diteliti adalah pencemaran limbah industri, maka proses desalinasi air laut dan air payau menjadi alternatif untuk menghasilkan air bersih.
- b. Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari pulau-pulau yang dikelilingi lautan serta mempunyai kekayaan alam yang berlimpah dan merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Kepulauan Indonesia terbentang dari Barat ke Timur sepanjang 5110 km, yang terdiri dari daratan 1,4 juta km (26%) dan lautan 5,4 juta km (74%). Wilayah Indonesia mempunyai pantai yang terpanjang di dunia yaitu 81.497 km, atau dua kali

panjang keliling bumi, dan berada di sekeliling ekuator yang berarti beriklim tropis. Kandungan air laut adalah 96,5% air dan 3,5% garam-garam mineral (Nybakken, 1992).

- c. Ada beberapa metode desalinasi air laut yang banyak digunakan saat ini antara lain dengan cara distilasi, evaporasi dan desalinasi dengan menggunakan membran yaitu *reverse osmosis* (RO), distilasi membran dan elektrodialisis (ED).

Teknologi desalinasi dengan cara distilasi biasanya memerlukan energi yang sangat besar untuk perubahan fase. Harga energi yang terus meningkat menyebabkan proses tersebut menjadi tidak kompetitif. Sementara itu teknologi membran pada saat ini sedang berkembang dengan pesatnya, hal ini disebabkan karena kegunaannya yang strategis pada proses pemisahan. Dibandingkan teknologi pemisahan lainnya, teknologi membran menawarkan keunggulan seperti pemakaian energi yang rendah, sederhana dan ramah lingkungan (Hartomo, 1991).

- d. Perlu dicatat juga bahwa, saat ini ada kecenderungan menurunnya harga membran dari tahun ke tahun sehingga biaya desalinasi dengan membran menjadi ekonomis (Nur Rahayu, 1999) sehingga kemungkinan untuk menggunakan Elektrodialisis untuk desalinasi air laut banyak memberikan harapan, karena pemakaian energi (Kwh) untuk setiap Ton NaCl dalam setiap tahunnya semakin menurun dan ditunjang dengan diperolehnya membran penukar ion yang mempunyai sifat dapat menurunkan pemakaian energi. Antara lain sifat-sifat tersebut adalah, mempunyai tahanan listrik rendah, bilangan transport tinggi dan permeasi dari solut dan solvent rendah.

## 6.4 METODE PENELITIAN

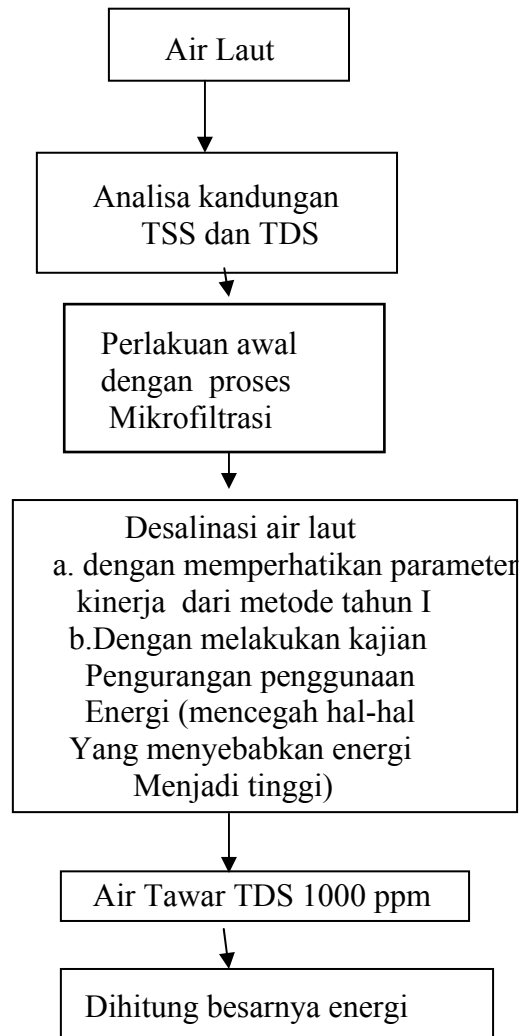
Metode penelitian Kajian pengurangan penggunaan energi pada proses desalinasi air laut untuk menghasilkan air tawar dengan membran Elektrodialisis adalah metode penelitian laboratorium dengan tahapan penelitian sebagai berikut :

### Tahun kedua

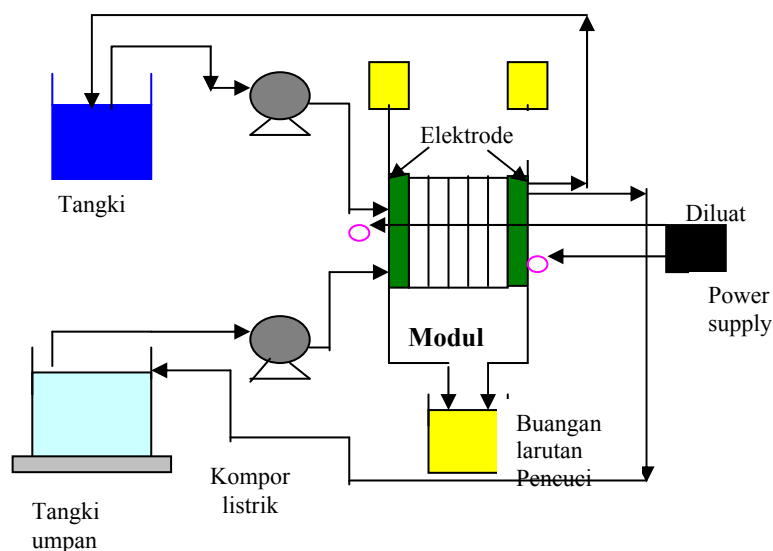
- a. **Judul** : Desalinasi air laut dengan membran Elektrodialisis untuk menghasilkan air tawar.
- b. **Tujuan** : untuk mendapatkan air tawar dari air laut

- c. Lokasi :** Pantai Kenjeran dan di Laboratorium Riset Jurusan Teknik Kimia UPN “Veteran” Jawa Timur.
- d. Teknik Pengumpulan data :** data-data yang diperlukan dalam hal ini adalah : 1. Tahap Persiapan, dilakukan perhitungan arus batas ,  $I_{lim}$  untuk berbagai konsentrasi larutan NaCl sintetis, karena diharapkan dapat mewakili sifat-sifat dari air laut.
2. Prosedur penentuan konsentrasi air tawar dengan menggunakan alat konduktivimeter.
- e. Cara analisis data :** 1. Pemeriksaan sampel air laut dan hasil air tawar di Laboratorium TAKI (Team Afiliasi dan Konsultasi Industri) ITS Surabaya.
2. Pemeriksaan hasil diluat dan konsentrat dilakukan dengan menggunakan alat konduktivimeter, dengan membuat terlebih dahulu kurva kalibrasinya.

## FLOWCHART METODE PENELITIAN II



## Skema Alat Percobaan Tahun II



**Gambar 6.1 Skema Alat Desalinasi dengan Proses Elektrodialisis**

### **Prosedur percobaan :**

#### **2. Persiapan awal**

- Pastikan power supply sudah tersambung dengan sumber utama listrik dengan baik
- Pastikan pompa-pompa telah tersambung dengan power supply dan speed control dengan baik
- Isi masing-masing tangki umpan dengan larutan yang sesuai perlakuan
- Pastikan tidak ada kebocoran pada unit ED, apabila terjadi kebocoran segera perbaiki.
- Pastikan sistem perpipaan ke dan dari sistem ED sudah terpasang dengan baik
- Pastikan elektroda-elektroda pada unit ED telah tersambung dengan power supply dengan baik.

#### **2. Prosedur pengoperasian alat power supply**

- Posisikan power supply pada kondisi ON
- Atur laju alir sesuai perlakuan
- Atur voltase pada power supply sesuai diinginkan

#### **3. Langkah-langkah percobaan**

- a. Pertamkali air payau atau air laut disaring dari kandungan kotoran-kotoran yang terikut



- b. Dilakukan perlakuan awal terhadap air laut dengan menggunakan MF
- c. Kemudian larutan dialirkan ke modul membran masing-masing yaitu dari tangki konsentrat, tangki feed dan pencuci elektrode, dengan menggunakan pompa, laju alir diatur sesuai variasi yang diinginkan. Dilakukan pengaliran arus listrik searah, sehingga ion positif dapat ditarik lewat membran kation ke elektrode negatif, ion negatif bergerak dalam arah yang berlawanan lewat membran anion. Aliran feed akan berkurang kadar garamnya dan ke luar berupa produk (diluut) air tawar, sedang konsentrat akan keluar melalui lubang konsentrat menuju tangki konsentrat. Dilakukan balikan kutub setiap 15 menit dan pencucian elektrode dengan menggunakan asam sitrat.
- d. Hasil yang diperoleh di tampung dan dianalisis dengan konduktivimeter

## **6.5 HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Perlakuan awal Air laut dengan menggunakan Ultrafiltrasi**

Membran Ultrafiltrasi memiliki ukuran pori antara 0,02-10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10-150  $\mu\text{m}$ . Ultrafiltrasi digunakan pada berbagai macam aplikasi di Industri, terutama untuk pemisahan partikel berukuran  $>0,1 \mu\text{m}$  dari larutannya. Membran ini dapat menahan koloid, mikroorganisme dan suspended solid.

Hasil yang diperoleh adalah dapat mengurangi kandungan TSS menjadi 50 mg/l

### **6.6 Proses desalinasi air laut dengan berbagai perlakuan secara konvensional.**

Untuk membandingkan apakah terjadi pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air laut dalam penelitian ini, maka dilakukan desalinasi secara konvensional sebagai pembandingnya (kontrol).

**Tabel 6.1 Hasil Desalinasi air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, T=25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 25.000            | 25.000   | 5             |
| 15            | 21.700            | 21.800   | 5             |
| 30            | 19.200            | 19.500   | 4             |
| 45            | 18.500            | 18.700   | 3             |
| 60            | 17.100            | 17.900   | 2,5           |
| 75            | 16.500            | 16.100   | 2,5           |
| 90            | 16.100            | 15.800   | 2             |
| 120           | 15.900            | 15.700   | 2             |

**Tabel 6.2 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, T = 25<sup>0</sup> C pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke;2.**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 15.900            | 15.700   | 4             |
| 15    | 14.100            | 14.400   | 3,5           |
| 30    | 13.500            | 13.300   | 3,5           |
| 45    | 12.200            | 12.500   | 3             |
| 60    | 10.800            | 11.800   | 3             |
| 75    | 10.600            | 10.900   | 2,5           |
| 90    | 9.700             | 10.500   | 2             |
| 120   | 9.600             | 10.200   | 2             |

**Tabel 6.3 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, T= 25<sup>0</sup>C pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 3**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 9.600             | 10.200   | 3             |
| 15    | 8.500             | 9.100    | 3             |
| 30    | 7.900             | 8.200    | 2,5           |
| 45    | 7.100             | 7.500    | 2,5           |
| 60    | 6.700             | 6.300    | 2             |
| 75    | 6.400             | 5.400    | 2             |
| 90    | 6.100             | 5.100    | 2             |
| 120   | 5.800             | 4.900    | 2             |

**Tabel 6.4 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm,  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada lajur alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 4**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 5.800             | 4.900    | 3             |
| 15    | 4.700             | 4.200    | 2,5           |
| 30    | 3.900             | 3.600    | 2,5           |
| 45    | 3.100             | 3.000    | 2             |
| 60    | 2.700             | 2.600    | 2             |
| 75    | 2.400             | 2.500    | 1,5           |
| 90    | 2.200             | 2.400    | 1,5           |
| 120   | 2.100             | 2.400    | 1,5           |

**Tabel 6.5 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt , batch 1.**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 25.000            | 25.000   | 6,5           |
| 15    | 20.100            | 20.000   | 5,5           |
| 30    | 18.500            | 18.100   | 5,5           |
| 45    | 16.100            | 16.600   | 5             |
| 60    | 15.400            | 15.500   | 4,5           |
| 75    | 14.500            | 14.700   | 4             |
| 90    | 13.900            | 13.700   | 4             |
| 120   | 13.600            | 13.500   | 4             |

**Tabel 6.6 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm pada  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, pada batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 13.600            | 13.500   | 5             |
| 15            | 11.100            | 11.400   | 5             |
| 30            | 9.900             | 10.100   | 4,5           |
| 45            | 8.900             | 9.000    | 4             |
| 60            | 8.100             | 8.300    | 4             |
| 75            | 7.500             | 7.900    | 3,5           |
| 90            | 7.300             | 7.500    | 3             |
| 120           | 7.100             | 7.400    | 3             |

**Tabel 6.7 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm pada T= 30<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt pada batch ke; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 7.100             | 7.400    | 3,5           |
| 15            | 6.000             | 6.300    | 3             |
| 30            | 5.200             | 5.100    | 2,5           |
| 45            | 4.600             | 4.700    | 2,5           |
| 60            | 4.400             | 3.900    | 2             |
| 75            | 4.100             | 3.300    | 2             |
| 90            | 3.800             | 3.100    | 1,6           |
| 120           | 3.700             | 3.000    | 1,5           |

**Tabel 6.8 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm pada T= 30<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt pada batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 3.700             | 3.000    | 2             |
| 15            | 2.500             | 2.000    | 2,5           |
| 30            | 1.800             | 1.500    | 2,5           |
| 45            | 1.300             | 1.100    | 2             |
| 60            | 1,800             | 1.000    | 2             |
| 75            | 1.300             | 800      | 1,5           |
| 90            | 1.000             | 700      | 1,3           |
| 120           | 900               | 700      | 1,0           |

**Tabel 6.9 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada T= 35<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 1.**

| Waktu (menit ) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|----------------|-------------------|----------|---------------|
|                | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0              | 25.000            | 25.000   | 7             |
| 15             | 22.800            | 23.400   | 6,5           |
| 30             | 20.800            | 21.400   | 6             |
| 45             | 19.700            | 20.100   | 5,5           |
| 60             | 18.800            | 19.300   | 5,5           |
| 75             | 17.100            | 18.100   | 5             |
| 90             | 16.600            | 17.700   | 4,5           |
| 120            | 16.500            | 17.500   | 4,5           |

**Tabel 6.10 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada T= 35<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt untuk batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 16.500            | 17,500   | 4,5           |
| 15            | 15.300            | 16.200   | 4             |
| 30            | 14.100            | 15.100   | 4             |
| 45            | 13.800            | 14.800   | 3,5           |
| 60            | 13.200            | 14.100   | 3             |
| 75            | 12.700            | 13.300   | 3             |
| 90            | 12.700            | 12.700   | 3,5           |
| 120           | 12.500            | 12.300   | 3,5           |

**Tabel 6.11 Hasil Desalinasi air laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Kosentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.500           | 12.300   | 4             |
| 15            | 11.200           | 11.600   | 3             |
| 30            | 10.100           | 10.800   | 3             |
| 45            | 9.000            | 10.000   | 2,5           |
| 60            | 8.500            | 9.200    | 2             |
| 75            | 8.100            | 8.700    | 2             |
| 90            | 7.700            | 8.600    | 1,6           |
| 120           | 7.600            | 8.500    | 1,5           |

**Tabel 6.12 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 7.600             | 8.500    | 2,5           |
| 15            | 6.300             | 7.600    | 2             |
| 30            | 5.100             | 6.500    | 2             |
| 45            | 4.500             | 5.900    | 1,7           |
| 60            | 4.100             | 5.300    | 1,5           |
| 75            | 3.700             | 4.800    | 1.2           |
| 90            | 3.300             | 3.200    | 1             |
| 120           | 3.100             | 3.000    | 0,8           |

**Tabel 6.13 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 7             |
| 15            | 25.500            | 25.800   | 6             |
| 30            | 23.100            | 23.500   | 5,5           |
| 45            | 21.700            | 22.300   | 5             |
| 60            | 20.900            | 20.400   | 4,6           |
| 75            | 19.400            | 19.600   | 4,2           |
| 90            | 18.500            | 18.800   | 4             |
| 120           | 18.400            | 18.600   | 3,5           |

**Tabel 6.14 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 19.300            | 18.600   | 5,5           |
| 15            | 17.800            | 16.200   | 5,5           |
| 30            | 16.300            | 15.500   | 4             |
| 45            | 15.100            | 14.700   | 3,5           |
| 60            | 14.200            | 13.100   | 3             |
| 75            | 13.300            | 12.500   | 2,5           |
| 90            | 12.400            | 11.900   | 2,5           |
| 120           | 12.100            | 11.800   | 2             |

**Tabel 6.15 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.100            | 11.800   | 3             |
| 15            | 11.000            | 10.600   | 2.6           |
| 30            | 10.100            | 9.700    | 2,5           |
| 45            | 9.400             | 9.000    | 2             |
| 60            | 8.800             | 8.500    | 1,6           |
| 75            | 8.300             | 8.000    | 1,2           |
| 90            | 7.800             | 7.500    | 1             |
| 120           | 7.700             | 7.400    | 1             |

**Tabel 6.16 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 7.700             | 7.400    | 2             |
| 15            | 6.600             | 6.400    | 1,6           |
| 30            | 5.700             | 5.200    | 1,2           |
| 45            | 4.800             | 4.600    | 1             |
| 60            | 4.100             | 3.900    | 1,8           |
| 75            | 3.400             | 3.300    | 1,6           |
| 90            | 3.100             | 2.100    | 1,5           |
| 120           | 3.000             | 1.900    | 1             |

**Tabel 6.17 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 8             |
| 15            | 24.200            | 24.100   | 7             |
| 30            | 22.400            | 22.200   | 6             |
| 45            | 20.900            | 20.800   | 5,5           |
| 60            | 19.100            | 19.400   | 5             |
| 75            | 18.100            | 18.600   | 5             |
| 90            | 17.300            | 17.500   | 4,5           |
| 120           | 17.100            | 17.300   | 4             |

**Tabel 6.18 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 17.100            | 17.300   | 6             |
| 15            | 15.200            | 15.300   | 6             |
| 30            | 14.100            | 14.100   | 5,5           |
| 45            | 13.300            | 13.400   | 5             |
| 60            | 12.000            | 11.900   | 4,5           |
| 75            | 11.200            | 11.500   | 4             |
| 90            | 10.800            | 11.200   | 4             |
| 120           | 10.500            | 10.800   | 3,5           |

**Tabel 6.19 Hasil Desalinasi Air laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.500            | 10.800   | 4             |
| 15            | 9.400             | 9.600    | 4             |
| 30            | 8.300             | 8.400    | 3,5           |
| 45            | 7.400             | 8.500    | 3             |
| 60            | 6.800             | 7.900    | 2,5           |
| 75            | 6.300             | 7.300    | 2,5           |
| 90            | 5.900             | 7.600    | 2             |
| 120           | 5.800             | 6.100    | 1,5           |

**Tabel 6.20 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 5.800             | 6.100    | 2             |
| 15            | 5.000             | 5.000    | 2             |
| 30            | 4.100             | 4.100    | 2,6           |
| 45            | 3.300             | 3.500    | 2,3           |
| 60            | 2.600             | 2.800    | 2             |
| 75            | 2.100             | 2.100    | 1,6           |
| 90            | 1.500             | 1.600    | 1,5           |
| 120           | 1.200             | 1.400    | 1             |

**Tabel 6.21 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm /dt dan 10 cm/dt batch ke ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 8             |
| 15            | 27.100            | 27.200   | 7             |
| 30            | 25.700            | 25.700   | 6             |
| 45            | 24.800            | 24.400   | 5,5           |
| 60            | 23.700            | 23.300   | 5             |
| 75            | 22.800            | 22.500   | 5             |
| 90            | 21.900            | 21.800   | 4,5           |
| 120           | 21.100            | 21.500   | 4             |



**Tabel 6.22 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm dt |               |
| 0             | 21.100            | 21.500   | 6             |
| 15            | 20.000            | 20.100   | 6             |
| 30            | 19.100            | 19.000   | 5             |
| 45            | 18.300            | 18.100   | 4             |
| 60            | 17.600            | 17.300   | 3,5           |
| 75            | 17.100            | 16.800   | 3             |
| 90            | 16.700            | 16.200   | 3             |
| 120           | 16.400            | 15.800   | 2             |

**Tabel 6.23 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 16.400            | 15.800   | 4             |
| 15            | 15.200            | 14.600   | 4             |
| 30            | 14.200            | 13.800   | 3             |
| 45            | 13.400            | 13.100   | 3,5           |
| 60            | 12.800            | 12.700   | 3             |
| 75            | 12.200            | 12.200   | 2,5           |
| 90            | 11.600            | 11.800   | 2,5           |
| 120           | 11.300            | 11.600   | 2             |

**Tabel 6.24 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 11.300            | 11.600   | 3             |
| 15            | 10.100            | 10.500   | 3,5           |
| 30            | 9.200             | 9.300    | 3,5           |
| 45            | 8.600             | 8.200    | 3             |
| 60            | 7.700             | 7.400    | 3             |
| 75            | 7.100             | 6.700    | 2             |
| 90            | 6.300             | 5.100    | 1,5           |
| 120           | 5.100             | 4.500    | 1,5           |

**Tabel 6.25 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 35.000            | 35.000   | 9             |
| 15            | 31.200            | 31.600   | 8             |
| 30            | 26.400            | 25.500   | 7             |
| 45            | 23.100            | 23.700   | 6,5           |
| 60            | 21.700            | 22.100   | 6             |
| 75            | 21.100            | 20.500   | 6             |
| 90            | 20.600            | 19.800   | 5             |
| 120           | 20.200            | 19.400   | 4,5           |

**Tabel 6.26 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 20.200            | 19.400   | 7             |
| 15            | 17.500            | 17.100   | 6,5           |
| 30            | 16.300            | 15.400   | 5             |
| 45            | 14.800            | 14.700   | 4,5           |
| 60            | 14.100            | 13.400   | 4,3           |
| 75            | 13.500            | 11.800   | 4             |
| 90            | 12.900            | 10.900   | 4             |
| 120           | 12.600            | 10.200   | 3,5           |

**Tabel 6.27 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 10.200   | 5             |
| 15            | 11.300            | 9.100    | 4             |
| 30            | 10.400            | 8.400    | 3,5           |
| 45            | 10.000            | 8.100    | 3             |
| 60            | 9.700             | 7.500    | 2,5           |
| 75            | 9.200             | 7.100    | 2             |
| 90            | 8.700             | 6.600    | 1,8           |
| 120           | 8.300             | 6.400    | 1,5           |

**Tabel 6.28 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 8.300             | 6.400    | 3             |
| 15            | 6.700             | 4.900    | 3             |
| 30            | 5.300             | 3.700    | 2,5           |
| 45            | 4.300             | 2.900    | 2,5           |
| 60            | 3.700             | 2.600    | 2             |
| 75            | 3.200             | 2.200    | 1,5           |
| 90            | 3.100             | 2.000    | 1             |
| 120           | 2.800             | 1.700    | 1             |

**Tabel 6.29 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 35.000            | 35.000   | 9             |
| 15            | 30.200            | 31.100   | 9             |
| 30            | 25.600            | 26.700   | 8             |
| 45            | 21.300            | 22.300   | 7             |
| 60            | 18.200            | 21.800   | 6,5           |
| 75            | 17.400            | 21.400   | 6             |
| 90            | 16.500            | 19.900   | 5             |
| 120           | 16.100            | 19.600   | 4             |

**Tabel 6.30 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt barth ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 16.100            | 19.600   | 7             |
| 15            | 14.900            | 18.100   | 7             |
| 30            | 13.700            | 16.700   | 6             |
| 45            | 12.800            | 15.900   | 5,5           |
| 60            | 12.000            | 15.100   | 5             |
| 75            | 11.200            | 14.000   | 5             |
| 90            | 10.600            | 13.800   | 4,5           |
| 120           | 10.300            | 13.200   | 4             |

**Tabel 6.31 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ . pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.300            | 13.200   | 5             |
| 15            | 9.200             | 11.600   | 5             |
| 30            | 8.400             | 10.100   | 4             |
| 45            | 7.900             | 9.200    | 4             |
| 60            | 7.400             | 8.400    | 3             |
| 75            | 6.800             | 7.800    | 2,5           |
| 90            | 6.500             | 6.400    | 2             |
| 120           | 6.300             | 6.100    | 2             |

**Tabel 6.32 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.300             | 6.100    | 4             |
| 15            | 4.900             | 4.500    | 4             |
| 30            | 3.800             | 4.200    | 3,5           |
| 45            | 3.100             | 3.600    | 3             |
| 60            | 2.300             | 2.800    | 2,5           |
| 75            | 1.600             | 2.100    | 2             |
| 90            | 1.300             | 1.500    | 2             |
| 120           | 1000              | 1.200    | 1,5           |

**Tabel 6.34 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 1.**

| Waktu (menit ) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|----------------|-------------------|----------|---------------|
|                | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0              | 35.000            | 35.000   | 10            |
| 15             | 30.600            | 31.800   | 10            |
| 30             | 27.500            | 29.000   | 9             |
| 45             | 26.600            | 27.500   | 8,5           |
| 60             | 25.800            | 26.500   | 8             |
| 75             | 25.100            | 25.400   | 7,5           |
| 90             | 24.300            | 25.200   | 7             |
| 120            | 24.100            | 24.700   | 6             |

**Tabel 6.35 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 24.100            | 24.700   | 8             |
| 15            | 22.300            | 23.400   | 7             |
| 30            | 21.900            | 22.100   | 6             |
| 45            | 20.800            | 21.300   | 5,5           |
| 60            | 19.800            | 20.600   | 5             |
| 75            | 19.200            | 20.100   | 4,5           |
| 90            | 18.600            | 19.700   | 4             |
| 120           | 18.300            | 19.300   | 4             |

**Tabel 6.36 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 18.300            | 19.300   | 6             |
| 15            | 17.100            | 18.200   | 6             |
| 30            | 16.200            | 17.100   | 5             |
| 45            | 15.200            | 16.100   | 5             |
| 60            | 14.600            | 15.000   | 4,5           |
| 75            | 14.100            | 14.300   | 4             |
| 90            | 13.800            | 14.000   | 4             |
| 120           | 13.400            | 13.600   | 3,5           |

**Tabel 6.37 Hasil Desalinasi Air Laut secara konvensional untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur  $35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

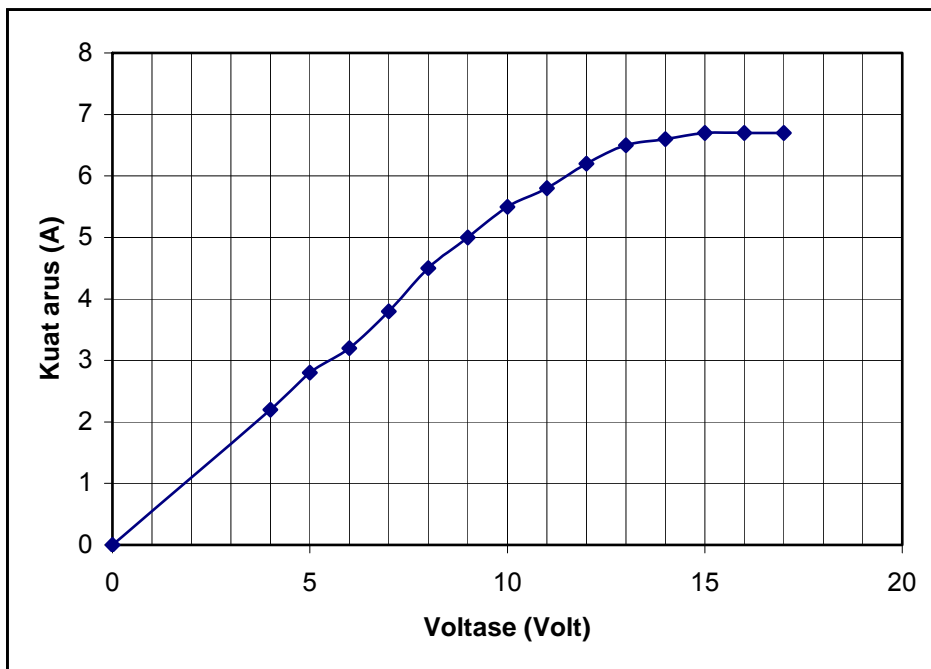
| Waktu (menit) | Konsetrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0             | 13.400           | 13.600   | 4             |
| 15            | 12.200           | 12.000   | 4,5           |
| 30            | 11.200           | 11.100   | 3             |
| 45            | 10.300           | 10.200   | 2,5           |
| 60            | 9.500            | 9.300    | 2             |
| 75            | 9.000            | 8.600    | 1,5           |
| 90            | 8.500            | 8.000    | 1,5           |
| 120           | 8.000            | 7.400    | 1             |

### 6.7 Penentuan harga $I_{lim}$ untuk masing-masing konsentrasi dan temperatur ;

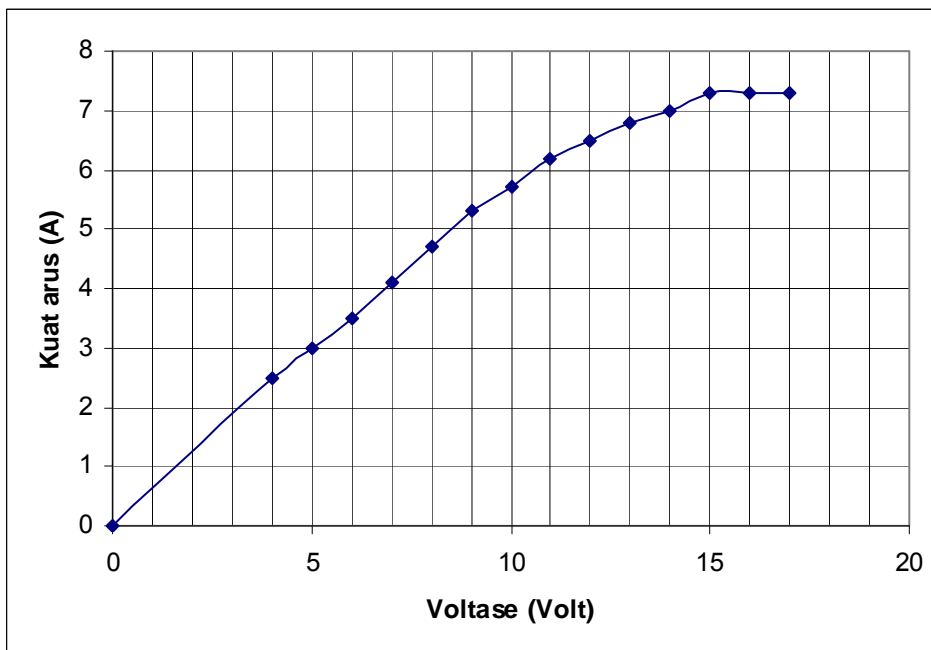
Untuk mendapatkan arus batas setelah diperoleh data antara voltase dan arus, ditarik garis singgung untuk masing-masing kurva.

**Tabel 6.38 Data percobaan voltase vs kuat arus untuk konsentrasi 35.000 ppm  
untuk ;  $T=25^{\circ}\text{C}$  ;  $T=30^{\circ}\text{C}$  ;  $T=35^{\circ}\text{C}$**

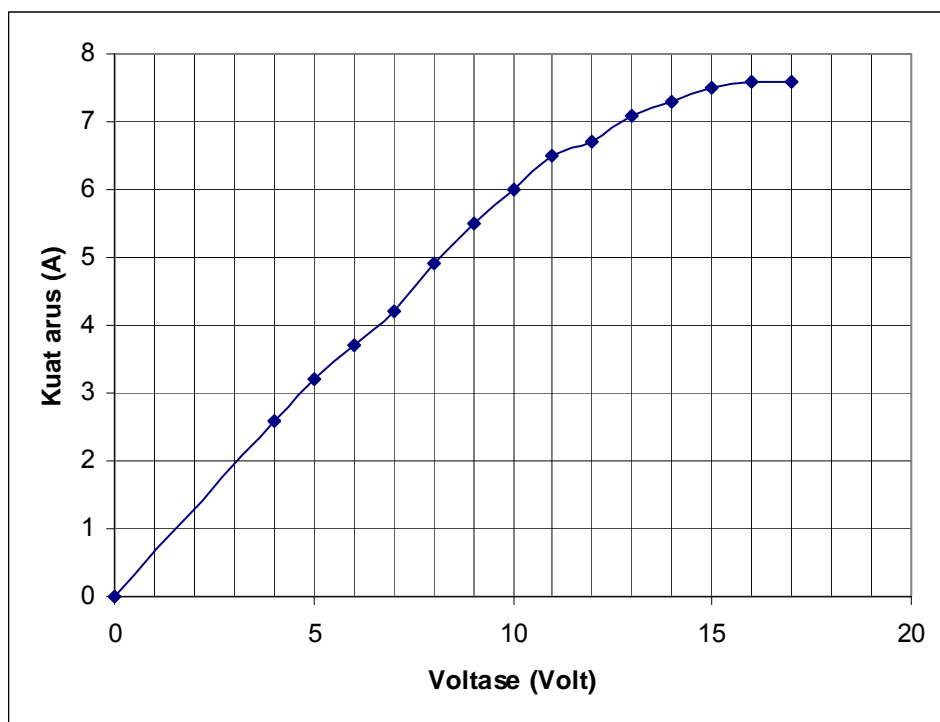
| Voltase(V) | Kuat Arus (A)<br>$T=25^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=30^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=35^{\circ}\text{C}$ |
|------------|---|---|---|
| 0          |   | 0                                       | 0                                       |
| 4          | 2,2                                     | 2,5                                     | 2,6                                     |
| 5          | 2,8                                     | 3                                       | 3,2                                     |
| 6          | 3,2                                     | 3,5                                     | 3,7                                     |
| 7          | 3,8                                     | 4,1                                     | 4,2                                     |
| 8          | 4,5                                     | 4,7                                     | 4,9                                     |
| 9          | 5                                       | 5,3                                     | 5,5                                     |
| 10         | 5,5                                     | 5,7                                     | 6                                       |
| 11         | 5,8                                     | 6,2                                     | 6,5                                     |
| 12         | 6,2                                     | 6,5                                     | 6,7                                     |
| 13         | 6,5                                     | 6,8                                     | 7,1                                     |
| 14         | 6,6                                     | 7                                       | 7,3                                     |
| 15         | 6,7                                     | 7,3                                     | 7,5                                     |
| 16         | 6,7                                     | 7,3                                     | 7,6                                     |
| 17         | 6,7                                     | 7,3                                     | 7,6                                     |



**Gambar 6.2** Konsentrasi 35.000 ppm,  $T = 25^{\circ}\text{C}$



**Gambar 6.3** Konsentrasi 35.000 ppm,  $T = 30^{\circ}\text{C}$

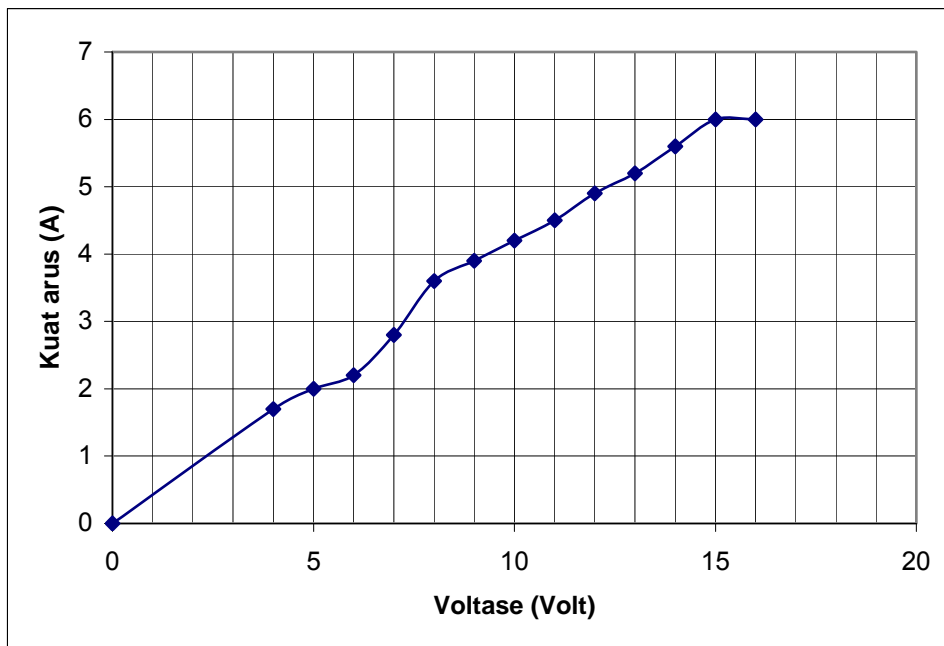


**Gambar 6.4** Konsentrasi 35.000 ppm,  $T=35^{\circ}\text{C}$

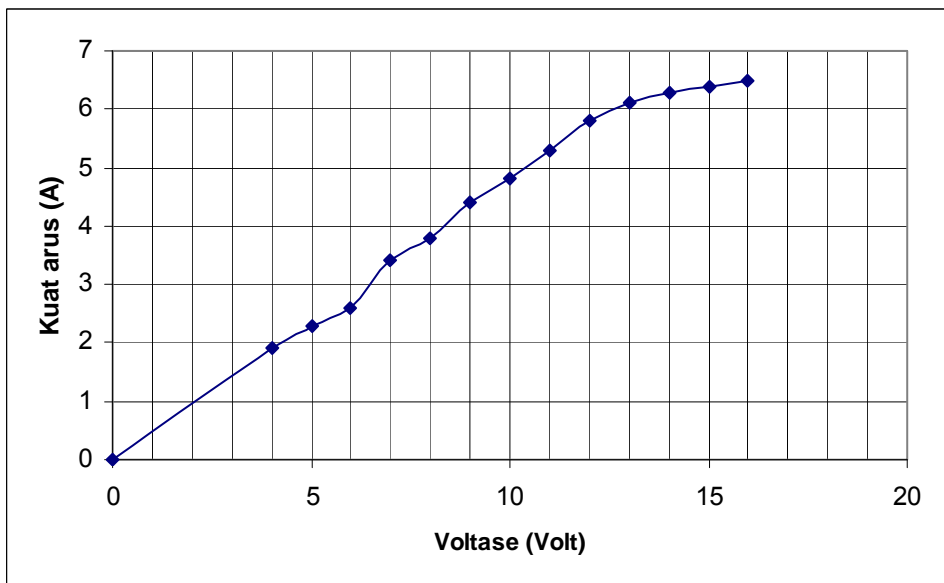
**Tabel 6.39** Data percobaan voltase vs kuat arus untuk konsentrasi 30.000 ppm untuk ;  $T=25^{\circ}\text{C}$  ;  $T=30^{\circ}\text{C}$  ;  $T=35^{\circ}\text{C}$

| Voltase (v) | Kuat Arus (A)<br>$T=25^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=30^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=35^{\circ}\text{C}$ |
|-------------|---|---|---|
| 0           | 0                                       | 0                                       | 0                                       |
| 4           | 1,7                                     | 1,9                                     | 2,2                                     |
| 5           | 2                                       | 2,3                                     | 2,8                                     |
| 6           | 2,2                                     | 2,6                                     | 3,2                                     |
| 7           | 2,8                                     | 3,4                                     | 3,8                                     |
| 8           | 3,6                                     | 3,8                                     | 4,5                                     |
| 9           | 3,9                                     | 4,4                                     | 5                                       |
| 10          | 4,2                                     | 4,8                                     | 5,4                                     |
| 11          | 4,5                                     | 5,3                                     | 5,8                                     |
| 12          | 4,9                                     | 5,8                                     | 6,2                                     |
| 13          | 5,2                                     | 6,1                                     | 6,5                                     |
| 14          | 5,6                                     | 6,3                                     | 6,5                                     |
| 15          | 6                                       | 6,4                                     | 6,7                                     |
| 16          | 6                                       | 6,5                                     | 6,7                                     |

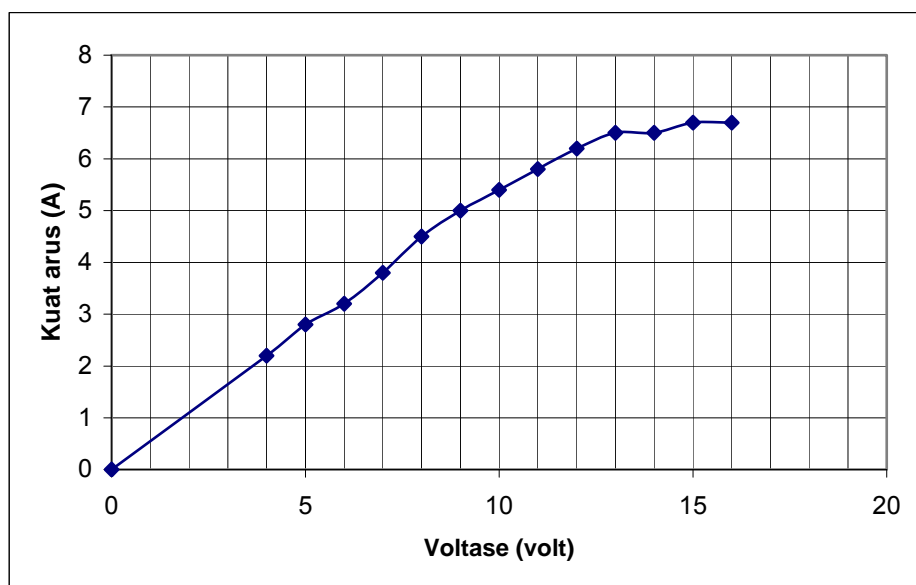




**Gambar 6.5** Konsentrasi 30.000 ppm,  $T=25^{\circ}\text{C}$



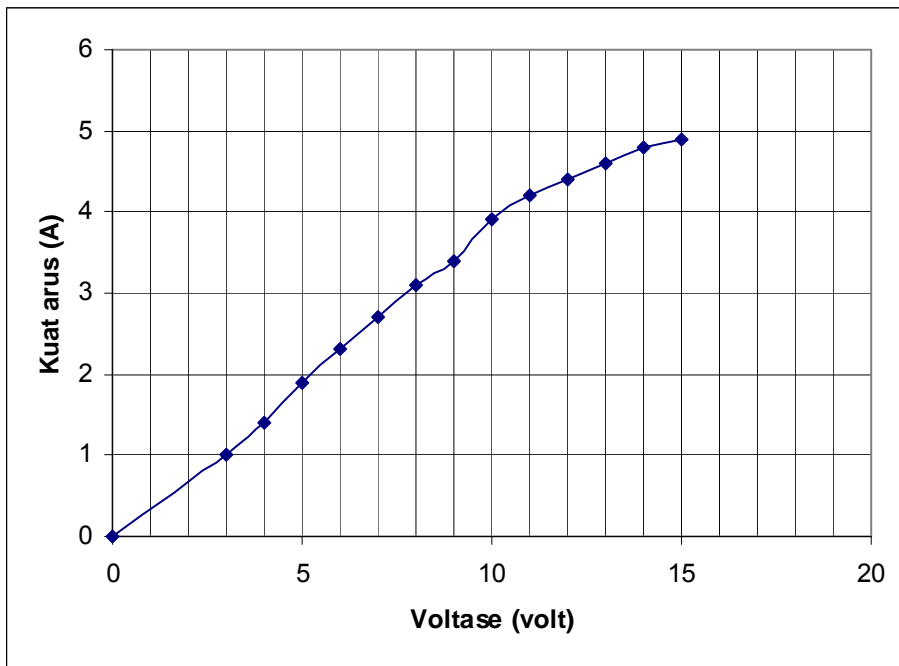
**Gambar 6.6** Konsentrasi 30.000 ppm,  $T=30^{\circ}\text{C}$



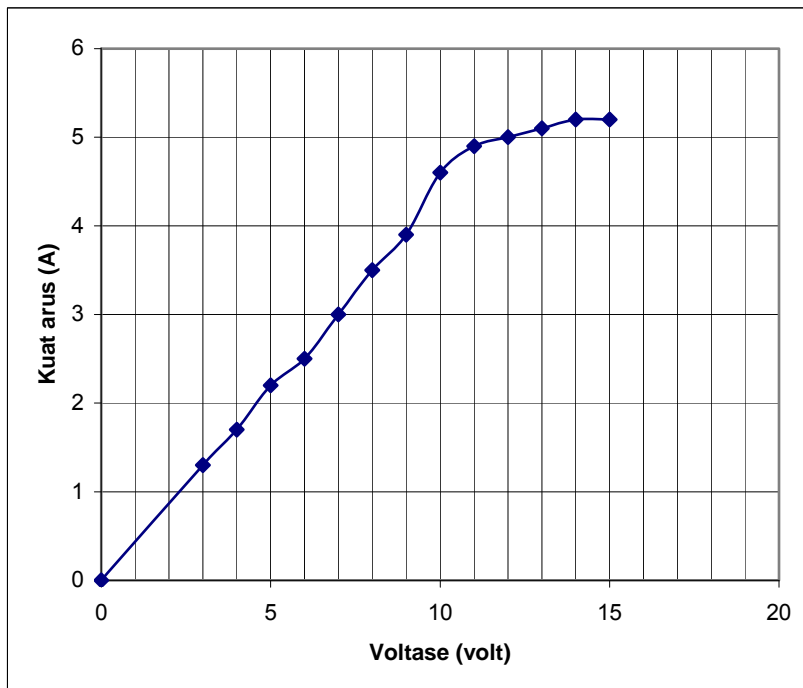
**Gambar 6.7** Konsentrasi 30.000 ppm,  $T=35^{\circ}\text{C}$

**Tabel 6.40** Data percobaan voltase vs kuat arus untuk konsentrasi 25.000 ppm untuk ;  $T=25^{\circ}\text{C}$  ;  $T=30^{\circ}\text{C}$  ;  $T=35^{\circ}\text{C}$

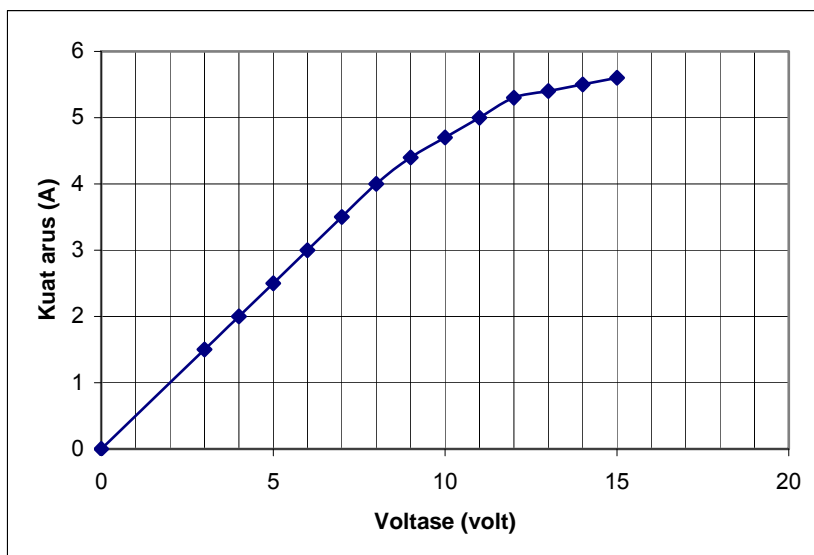
| Voltase (V) | Kuat Arus (A)<br>$T=25^{\circ}\text{C}$ | Kuat arus (A)<br>$T=30^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=35^{\circ}\text{C}$ |
|-------------|---|---|---|
| 0           | 0                                       | 0                                       | 0                                       |
| 3           | 1                                       | 1,3                                     | 1,5                                     |
| 4           | 1,4                                     | 1,7                                     | 2                                       |
| 5           | 1,9                                     | 2,2                                     | 2,5                                     |
| 6           | 2,3                                     | 2,5                                     | 3                                       |
| 7           | 2,7                                     | 3                                       | 3,5                                     |
| 8           | 3,1                                     | 3,5                                     | 4                                       |
| 9           | 3,4                                     | 3,9                                     | 4,4                                     |
| 10          | 3,9                                     | 4,6                                     | 4,7                                     |
| 11          | 4,2                                     | 4,9                                     | 5                                       |
| 12          | 4,4                                     | 5                                       | 5,3                                     |
| 13          | 4,6                                     | 5,1                                     | 5,4                                     |
| 14          | 4,8                                     | 5,2                                     | 5,5                                     |
| 15          | 4,9                                     | 5,2                                     | 5,6                                     |



**Gambar 6.8 Konsentrasi 25.000 ppm,  $T=25^{\circ}\text{C}$**



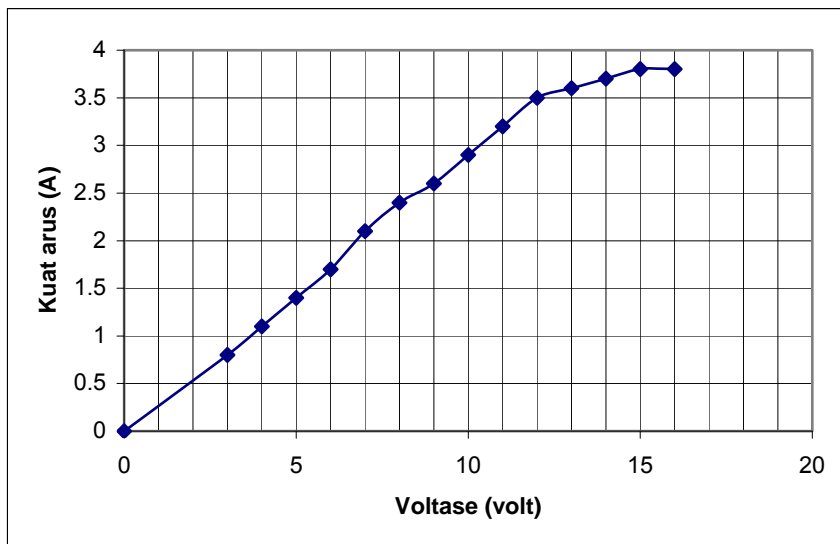
**Gambar 6.9 Konsentrasi 25.000 ppm,  $T=30^{\circ}\text{C}$**



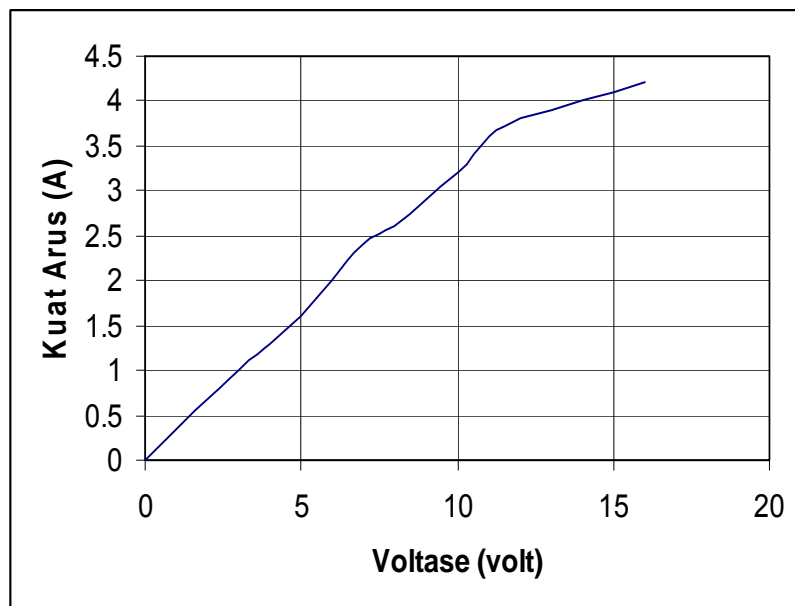
**Gambar 6.10 Konsentrasi 25.000 ppm,  $T=35^{\circ}\text{C}$**

**Tabel 6.41 Data percobaan voltase vs kuat arus untuk konsentrasi 20.000 ppm, untuk  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $T=30^{\circ}\text{C}$ ,  $T=35^{\circ}\text{C}$**

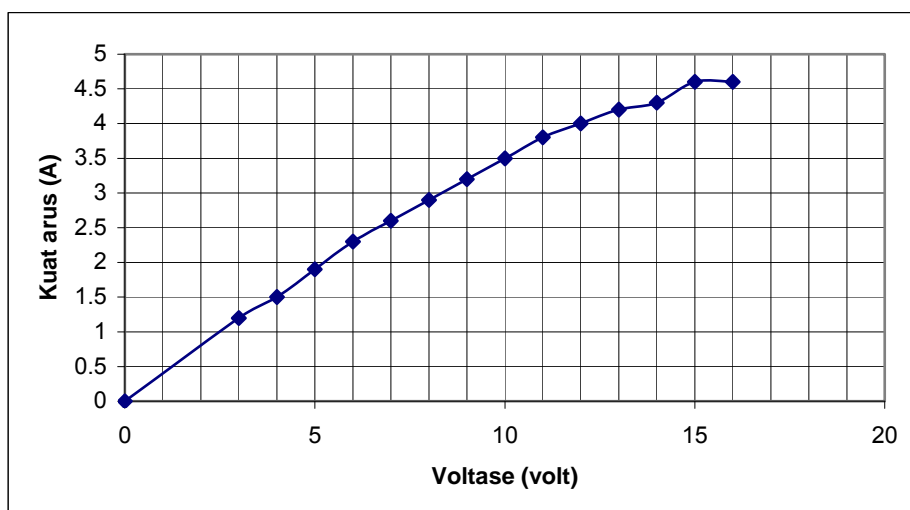
| Voltase (v) | Kuat Arus (A)<br>$T=25^{\circ}\text{C}$ | Kuat arus (A)<br>$T=30^{\circ}\text{C}$ | Kuat Arus (A)<br>$T=35^{\circ}\text{C}$ |
|-------------|---|---|---|
| 0           | 0                                       | 0                                       | 0                                       |
| 3           | 0,8                                     | 1                                       | 1,2                                     |
| 4           | 11,1                                    | 1,3                                     | 1,5                                     |
| 5           | 1,4                                     | 1,6                                     | 1,9                                     |
| 6           | 1,7                                     | 2                                       | 2,3                                     |
| 7           | 2,1                                     | 2,4                                     | 2,6                                     |
| 8           | 2,4                                     | 2,6                                     | 2,9                                     |
| 9           | 2,6                                     | 2,9                                     | 3,2                                     |
| 10          | 2,9                                     | 3,2                                     | 3,5                                     |
| 11          | 3,2                                     | 3,6                                     | 3,8                                     |
| 12          | 3,5                                     | 3,8                                     | 4                                       |
| 13          | 3,6                                     | 3,9                                     | 4,2                                     |
| 14          | 3,7                                     | 4                                       | 4,3                                     |
| 15          | 3,8                                     | 4,1                                     | 4,6                                     |
| 16          | 3,8                                     | 4,2                                     | 4,6                                     |



**Gambar 6.11** Konsentrasi 20.000 ppm,  $T = 25^{\circ}\text{C}$



**Gambar 6.12** Konsentrasi 20.000 ppm,  $T = 30^{\circ}\text{C}$



**Gambar 6.13** Konsentrasi 20.000 ppm,  $T = 35^{\circ}\text{C}$

### 6.8 Perhitungan arus batas dan voltase batas

Dari pengukuran antara besarnya voltase dan arus untuk masing-masing perlakuan, maka dibuat dibuat tabel sebagai berikut :

**Tabel 6.42** Harga  $I_{\text{lim}}$  untuk berbagai konsentrasi garam dan temperatur

| No. | Konsentrasi (ppm) | Arus batas ( $I_{\text{lim}}$ ), A |      |     |
|-----|-------------------|------------------------------------|------|-----|
|     |                   | Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )  |      |     |
|     |                   | 25                                 | 30   | 35  |
| 1   | 35.000            | 6,5                                | 7    | 7,2 |
| 2   | 30.000            | 5,8                                | 6    | 6,5 |
| 3   | 25.000            | 4,5                                | 5,2  | 5,2 |
| 4   | 20.000            | 3,7                                | 4,2  | 4,6 |
| 5   | 15.000            | 2,5                                | 2,3  | 2,7 |
| 6   | 10.000            | 1,8                                | 1,8  | 1,8 |
| 7   | 5.000             | 1,3                                | 1,38 | 1,4 |

**Tabel 6.43** Harga  $V_{\text{lim}}$  untuk berbagai konsentrasi garam dan temperatur

| No. | Konsentrasi (ppm) | Voltase batas ( $V_{\text{lim}}$ ) (Volt) |      |      |
|-----|-------------------|---|------|------|
|     |                   | Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )         |      |      |
|     |                   | 25  | 30   | 35   |
| 1.  | 35.000            | 12  | 15   | 12,5 |
| 2.  | 30.000            | 14  | 12,5 | 13   |
| 3.  | 25.000            | 12,2                                      | 11,6 | 10,5 |
| 4   | 20.000            | 13,4                                      | 12   | 14   |
| 5.  | 15.000            | 11  | 8,5  | 8    |
| 6.  | 10.000            | 7,8                                       | 6    | 6    |
| 7   | 5.000             | 7,2                                       | 6,2  | 5,6  |

### 6.9 Proses Desalinasi air laut

Setelah diperoleh arus batas untuk masing-masing perlakuan, kemudian dilakukan proses Desalinasi air laut untuk masing-masing perlakuan yaitu, untuk perlakuan konsentrasi, temperatur dan laju alir. Hasil yang diperoleh dibuat tabel sebagai berikut :

**Tabel 6.44 Hasil Desalinasi air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm dan temperatur  $T=25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 11,5 volt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 25.000            | 25.000   | 3             |
| 15            | 22.400            | 22.600   | 3             |
| 30            | 19.100            | 20.700   | 3             |
| 45            | 18.600            | 18.300   | 2,6           |
| 60            | 17.400            | 17.100   | 2,5           |
| 75            | 16.100            | 16.300   | 2             |
| 90            | 15.600            | 15.400   | 1,4           |
| 120           | 15.300            | 15.100   | 1,2           |

**Tabel 6.45 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 dan temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 15.300            | 15.1000  | 1,5           |
| 15            | 14.200            | 13.700   | 1,5           |
| 30            | 12.700            | 12.500   | 1,5           |
| 45            | 11.500            | 11.900   | 1,3           |
| 60            | 10.200            | 11.300   | 1,2           |
| 75            | 9.600             | 10.800   | 1,1           |
| 90            | 9.300             | 10.300   | 1             |
| 120           | 9.300             | 8.9000   | 0,8           |

**Tabel 6.46 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$  pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 9300              | 8900     | 1             |
| 15    | 8500              | 8000     | 1             |
| 30    | 7800              | 7200     | 1             |
| 45    | 7200              | 6500     | 1             |
| 60    | 6500              | 6000     | 0,9           |
| 75    | 5800              | 5400     | 0,8           |
| 90    | 5200              | 4800     | 0,7           |
| 120   | 4700              | 4400     | 0,6           |

**Tabel 6.47 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan temperatur  $25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;4**

| Waktu | Kosentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0     | 4700             | 4400     | 0,6           |
| 15    | 4200             | 4000     | 0,6           |
| 30    | 3600             | 3500     | 0,6           |
| 45    | 3100             | 3100     | 0,6           |
| 60    | 2600             | 2500     | 0,5           |
| 75    | 2200             | 2100     | 0,4           |
| 90    | 1700             | 1800     | 0,3           |
| 120   | 1500             | 1550     | 0,2           |

**Tabel 6.48 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur  $T=30^{\circ}\text{C}$ , laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt , batch ke ; 1.**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 25.000            | 25.000   | 3,5           |
| 15    | 21.100            | 22.000   | 3,5           |
| 30    | 17.500            | 19.100   | 3,5           |
| 45    | 15.100            | 17.600   | 3,5           |
| 60    | 14.400            | 16.500   | 3,2           |
| 75    | 13.200            | 15.300   | 3             |
| 90    | 12.200            | 13.100   | 2,9           |
| 120   | 11.600            | 12.100   | 2,8           |



**Tabel 6.49 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm dan Temperatur 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 11.600            | 12.100   | 1,5           |
| 15            | 10.100            | 10.700   | 1,5           |
| 30            | 8.900             | 9.800    | 1,5           |
| 45            | 8.400             | 9.200    | 1,5           |
| 60            | 8.200             | 8.400    | 1,4           |
| 75            | 7.500             | 7.800    | 1,2           |
| 90            | 7.100             | 7.400    | 1             |
| 120           | 6.800             | 7.200    | 0,9           |

**Tabel 6.50 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm dan Temperatur T =30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 ccm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.800             | 7.200    | 0,9           |
| 15            | 5.900             | 6.600    | 0,9           |
| 30            | 5.200             | 6.100    | 0,9           |
| 45            | 4.600             | 5.800    | 0,9           |
| 60            | 4.200             | 5.500    | 0,8           |
| 75            | 3.800             | 5.100    | 0,7           |
| 90            | 3.500             | 4.700    | 0,6           |
| 120           | 3.400             | 4.500    | 0,5           |

**Tabel 6.51 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm dan Temperatur T =30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 3.400             | 4.500    | 0,7           |
| 15            | 3.000             | 3.900    | 0,7           |
| 30            | 2.600             | 3.500    | 0,7           |
| 45            | 2.100             | 3.100    | 0,7           |
| 60            | 1,800             | 2.700    | 0,6           |
| 75            | 1.600             | 2.400    | 0,5           |
| 90            | 1.300             | 2.100    | 0,3           |
| 120           | 1.600             | 1.900    | 0,2           |

**Tabel 6.52 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 1.**

| Waktu (menit ) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|----------------|-------------------|----------|---------------|
|                | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0              | 25.000            | 25.000   | 3,7           |
| 15             | 23.800            | 23.200   | 3,7           |
| 30             | 22.800            | 21.400   | 3,7           |
| 45             | 21.900            | 20.200   | 3,7           |
| 60             | 20.800            | 19.300   | 3,5           |
| 75             | 20.100            | 18.600   | 3,4           |
| 90             | 19.600            | 18.200   | 3,2           |
| 120            | 19.100            | 18.000   | 3             |

**Tabel 6.53 hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 19.100            | 18.000   | 3             |
| 15            | 18.100            | 16.400   | 3             |
| 30            | 17.400            | 15.100   | 3             |
| 45            | 16.800            | 13.800   | 3             |
| 60            | 15.900            | 12.900   | 2,8           |
| 75            | 15.200            | 12.300   | 2,7           |
| 90            | 14.700            | 11.700   | 2,6           |
| 120           | 14.500            | 11.500   | 2,5           |

**Tabel 6.54 Hasil Desalinasi air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 11.500            | 14.500   | 1,7           |
| 15            | 10.800            | 13.600   | 1,7           |
| 30            | 10.300            | 12.800   | 1,7           |
| 45            | 9.800             | 11.600   | 1,7           |
| 60            | 9.300             | 11.200   | 1,5           |
| 75            | 8.900             | 10.700   | 1,4           |
| 90            | 8.500             | 10.600   | 1,2           |
| 120           | 8.200             | 10.500   | 1             |

**Tabel 6.55 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, dan Temperatur T = 35°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 8.200             | 10.500   | 1,3           |
| 15            | 7.600             | 8.700    | 1,3           |
| 30            | 7.100             | 7.300    | 1,3           |
| 45            | 6.600             | 6.400    | 1,2           |
| 60            | 6.100             | 5.600    | 1,0           |
| 75            | 5.700             | 4.900    | 0,9           |
| 90            | 5.300             | 4.200    | 0,8           |
| 120           | 5.100             | 4.000    | 0,6           |

**Tabel 6.56 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 3,9           |
| 15            | 26.500            | 26.800   | 3,9           |
| 30            | 24.100            | 24.500   | 3,9           |
| 45            | 22.700            | 22.300   | 3,9           |
| 60            | 21.900            | 20.400   | 3,7           |
| 75            | 19.700            | 19.600   | 3,6           |
| 90            | 19.100            | 18.800   | 3,5           |
| 120           | 19.300            | 18.400   | 3,2           |

**Tabel 6.57 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 19.300            | 18.400   | 2,5           |
| 15            | 17.800            | 16.100   | 2,5           |
| 30            | 16.300            | 14.900   | 2,5           |
| 45            | 15.000            | 13.800   | 2,5           |
| 60            | 14.100            | 13.100   | 2,3           |
| 75            | 13.200            | 12.300   | 2,2           |
| 90            | 12.800            | 11.700   | 2,1           |
| 120           | 12.600            | 11.200   | 2             |

**Tabel 6.58 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 11.200   | 1,2           |
| 15            | 11.300            | 10.400   | 1,2           |
| 30            | 10.100            | 9.700    | 1,2           |
| 45            | 9.200             | 9.000    | 1,1           |
| 60            | 8.600             | 8.400    | 0,9           |
| 75            | 8.100             | 8.100    | 0,8           |
| 90            | 7.600             | 7.800    | 0,7           |
| 120           | 7.300             | 7.600    | 0,5           |

**Tabel 6.59 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 25°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 7.300             | 7.600    | 0,8           |
| 15            | 6.100             | 5.400    | 0,8           |
| 30            | 5.200             | 4.100    | 0,8           |
| 45            | 4.800             | 3.200    | 0,8           |
| 60            | 4.100             | 2.600    | 0,7           |
| 75            | 3.400             | 2.300    | 0,6           |
| 90            | 3.100             | 2.100    | 0,5           |
| 120           | 2.700             | 1.800    | 0,3           |

**Tabel 6.60 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur T = 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 4,2           |
| 15            | 24.900            | 24.300   | 4,2           |
| 30            | 23.100            | 21.200   | 4,2           |
| 45            | 21.400            | 20.200   | 4,2           |
| 60            | 20.100            | 19.100   | 4             |
| 75            | 19.100            | 18.600   | 3,8           |
| 90            | 18.300            | 17.800   | 3,7           |
| 120           | 17.600            | 17.400   | 3,5           |

**Tabel 6.61 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 17.600            | 17.400   | 2             |
| 15            | 15.200            | 15.300   | 2             |
| 30            | 13.100            | 13.900   | 2             |
| 45            | 11.800            | 12.800   | 2             |
| 60            | 10.700            | 11.900   | 1,8           |
| 75            | 10.200            | 11.500   | 1,7           |
| 90            | 10.100            | 11.200   | 1,6           |
| 120           | 9.500             | 10.800   | 1,5           |

**Tabel 6.62 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 9.500             | 10.800   | 1             |
| 15            | 8.600             | 9.600    | 1             |
| 30            | 8.100             | 8.900    | 1             |
| 45            | 7.800             | 8.500    | 1             |
| 60            | 7.500             | 8.100    | 0,8           |
| 75            | 7.000             | 7.800    | 0,7           |
| 90            | 6.400             | 7.500    | 0,6           |
| 120           | 6.100             | 7.300    | 0,5           |

**Tabel 6.63 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.100             | 7.300    | 0,9           |
| 15            | 5.200             | 5.400    | 0,9           |
| 30            | 4.400             | 4.100    | 0,9           |
| 45            | 3.600             | 3.300    | 0,9           |
| 60            | 2.800             | 2.600    | 0,8           |
| 75            | 2.100             | 2.100    | 0,6           |
| 90            | 1.500             | 1.400    | 0,5           |
| 120           | 1.200             | 1.100    | 0,4           |

**Tabel 6.64 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm /dt dan 10 cm/dt batch ke ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 4,5           |
| 15            | 28.000            | 27.100   | 4,5           |
| 30            | 26.700            | 25.700   | 4,5           |
| 45            | 25.800            | 25.400   | 4,5           |
| 60            | 24.700            | 24.600   | 4,3           |
| 75            | 23.800            | 24.300   | 4,2           |
| 90            | 22.900            | 24.200   | 4             |
| 120           | 22.100            | 24.000   | 3,9           |

**Tabel 6.65 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm dt |               |
| 0             | 22.100            | 24.000   | 3,3           |
| 15            | 21.200            | 23.600   | 3,3           |
| 30            | 20.600            | 22.800   | 3,3           |
| 45            | 19.800            | 21.800   | 3,3           |
| 60            | 18.700            | 20.900   | 3,1           |
| 75            | 18.100            | 19.600   | 3             |
| 90            | 17.600            | 18.800   | 2,8           |
| 120           | 17.300            | 18.400   | 2,6           |

**Tabel 6.66 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 17.300            | 18.400   | 2,4           |
| 15            | 15.200            | 16.300   | 2,4           |
| 30            | 14.700            | 15.100   | 2,4           |
| 45            | 14.100            | 13.800   | 2,4           |
| 60            | 13.600            | 12.700   | 2,2           |
| 75            | 13.200            | 11.900   | 2             |
| 90            | 12.800            | 11.300   | 1,9           |
| 120           | 12.600            | 11.300   | 1,8           |

**Tabel 6.67 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm dan Temperatur  $T = 35^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 11.300   | 1,5           |
| 15            | 10.400            | 9.500    | 1,5           |
| 30            | 9.200             | 8.300    | 1,5           |
| 45            | 8.600             | 7.200    | 1,5           |
| 60            | 7.700             | 6.000    | 1,4           |
| 75            | 7.100             | 5.200    | 1,2           |
| 90            | 6.300             | 4.600    | 1,1           |
| 120           | 5.100             | 4.100    | 1             |

**Tabel 6.68 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 35.000            | 35.000   | 4,5           |
| 15            | 31.200            | 31.600   | 4,5           |
| 30            | 26.400            | 25.500   | 4,5           |
| 45            | 23.100            | 23.700   | 4,5           |
| 60            | 21.700            | 22.100   | 4,3           |
| 75            | 21.100            | 20.500   | 4,2           |
| 90            | 20.600            | 19.800   | 4,1           |
| 120           | 20.200            | 19.400   | 4             |

**Tabel 6.69 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 20.200            | 19.400   | 2,5           |
| 15            | 17.500            | 17.100   | 2,5           |
| 30            | 16.300            | 15.400   | 2,5           |
| 45            | 14.800            | 14.700   | 2,5           |
| 60            | 14.100            | 13.400   | 2,3           |
| 75            | 13.500            | 11.800   | 2,2           |
| 90            | 12.900            | 10.900   | 2,1           |
| 120           | 12.600            | 10.200   | 2             |

**Tabel 6.70 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur T = 25°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 10.200   | 1,2           |
| 15            | 11.300            | 9.100    | 1,2           |
| 30            | 10.400            | 8.400    | 1,2           |
| 45            | 10.000            | 8.100    | 1,2           |
| 60            | 9.700             | 7.500    | 1             |
| 75            | 9.200             | 7.100    | 0,9           |
| 90            | 8.700             | 6.600    | 0,8           |
| 120           | 8.300             | 6.400    | 0,6           |

**Tabel 6.71 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur T = 25°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 8.300             | 6.400    | 0,8           |
| 15            | 6.700             | 4.900    | 0,8           |
| 30            | 5.300             | 3.700    | 0,8           |
| 45            | 4.300             | 2.900    | 0,8           |
| 60            | 3.700             | 2.600    | 0,6           |
| 75            | 3.200             | 2.200    | 0,5           |
| 90            | 3.100             | 2.000    | 0,4           |
| 120           | 2.800             | 1.700    | 0,2           |

**Tabel 6.72 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur T = 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 35.000            | 35.000   | 5             |
| 15            | 30.200            | 31.100   | 5             |
| 30            | 25.600            | 26.700   | 5             |
| 45            | 21.300            | 22.300   | 5             |
| 60            | 18.200            | 21.800   | 4,8           |
| 75            | 17.400            | 21.400   | 4,7           |
| 90            | 16.500            | 19.900   | 4,6           |
| 120           | 16.100            | 19.600   | 4,5           |



**Tabel 6.73 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur T = 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt barth ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 16.100            | 19.600   | 2,2           |
| 15            | 14.900            | 18.100   | 2,3           |
| 30            | 13.700            | 16.700   | 2,2           |
| 45            | 12.800            | 15.900   | 2,2           |
| 60            | 12.000            | 15.100   | 2             |
| 75            | 11.200            | 14.000   | 1.9           |
| 90            | 10.600            | 13.800   | 1,8           |
| 120           | 10.300            | 13.200   | 1,6           |

**Tabel 6.74 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur T = 30°C. pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.300            | 13.200   | 1,4           |
| 15            | 9.200             | 11.600   | 1,4           |
| 30            | 8.400             | 10.100   | 1,4           |
| 45            | 7.900             | 9.200    | 1,4           |
| 60            | 7.400             | 8.400    | 1,3           |
| 75            | 6.800             | 7.800    | 1,2           |
| 90            | 6.500             | 6.400    | 1             |
| 120           | 6.300             | 6.100    | 0,9           |

**Tabel 6.75 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur T = 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.300             | 6.100    | 0,9           |
| 15            | 4.900             | 4.500    | 0,9           |
| 30            | 3.800             | 4.200    | 0,9           |
| 45            | 3.100             | 3.600    | 0,9           |
| 60            | 2.300             | 2.800    | 0,8           |
| 75            | 1.600             | 2.100    | 0,7           |
| 90            | 1.300             | 1.500    | 0,6           |
| 120           | 1000              | 1.200    | 0,5           |

**Tabel 6.76 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, batch ke ; 1.**

| Waktu (menit ) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|----------------|-------------------|----------|---------------|
|                | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0              | 35.000            | 35.000   | 5             |
| 15             | 30.600            | 31.800   | 5             |
| 30             | 27.500            | 29.000   | 5             |
| 45             | 26.600            | 27.500   | 5             |
| 60             | 25.800            | 26.500   | 4,8           |
| 75             | 25.100            | 25.400   | 4,7           |
| 90             | 24.300            | 25.200   | 4,6           |
| 120            | 24.100            | 24.700   | 4,5           |

**Tabel 6.77 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 24.100            | 24.700   | 3,6           |
| 15            | 22.300            | 23.400   | 3,6           |
| 30            | 21.900            | 22.100   | 3,6           |
| 45            | 20.800            | 21.300   | 3,6           |
| 60            | 19.800            | 20.600   | 3,5           |
| 75            | 19.200            | 20.100   | 3,4           |
| 90            | 18.600            | 19.700   | 3,2           |
| 120           | 18.300            | 19.300   | 3             |

**Tabel 6.78 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, dan Temperatur T = 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 18.300            | 19.300   | 3             |
| 15            | 17.100            | 18.200   | 3             |
| 30            | 16.200            | 17.100   | 3             |
| 45            | 15.200            | 16.100   | 3             |
| 60            | 14.600            | 15.000   | 2,8           |
| 75            | 14.100            | 14.300   | 2,7           |
| 90            | 13.800            | 14.000   | 2,6           |
| 120           | 13.400            | 13.600   | 2,5           |

**Tabel 6.79 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm dan Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsetrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0             | 13.400           | 13.600   | 1,5           |
| 15            | 12.200           | 12.100   | 1,5           |
| 30            | 11.400           | 11.500   | 1,5           |
| 45            | 10.500           | 10.700   | 1,5           |
| 60            | 9.700            | 9.300    | 1,3           |
| 75            | 8.400            | 8.400    | 1,2           |
| 90            | 7.900            | 7.800    | 1,1           |
| 120           | 7.600            | 7.400    | 1             |

#### **6.10 Hasil Konversi Desalinasi Air laut berdasar penelitian**

Perhitungan Konversi yang diperoleh pada desalinasi air laut dihitung berdasar data-data hasil penelitian diatas, sebagai berikut :

**Tabel 6.80 Hasil Desalinasi air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm dan temperatur T=25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 11,5 volt, batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 25.000            | 25.000   | 3             |
| 15            | 22.400            | 22.600   | 3             |
| 30            | 19.100            | 20.700   | 3             |
| 45            | 18.600            | 18.300   | 2,6           |
| 60            | 17.400            | 17.100   | 2,5           |
| 75            | 16.100            | 16.300   | 2             |
| 90            | 15.600            | 15.400   | 1,4           |
| 120           | 15.300            | 15.100   | 1,2           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 25.000 \text{ ppm} - 15.300 \text{ ppm} = 9700 \text{ ppm} \\ &= 9700/25.000 \times 100\% = 38,8 \%\end{aligned}$$

**Tabel 6.81 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 untuk batch ke;2, 10 volt, T = 25<sup>0</sup>C.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 15.300            | 15.1000  | 1,5           |
| 15            | 14.200            | 13.700   | 1,5           |
| 30            | 12.700            | 12.500   | 1,5           |
| 45            | 11.500            | 11.900   | 1,3           |
| 60            | 10.200            | 11.300   | 1,2           |
| 75            | 9.600             | 10.800   | 1,1           |
| 90            | 9.300             | 10.300   | 1             |
| 120           | 9.300             | 8.9000   | 0,8           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 15.300 \text{ ppm} - 9.300 \text{ ppm} = 6000 \text{ ppm} \\ &= 6000/15.300 \times 100\% = 39,2\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.82 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, untuk batch ke ; 3, 10 Volt, T = 25<sup>0</sup>C**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 9300              | 8900     | 1             |
| 15    | 8500              | 8000     | 1             |
| 30    | 7800              | 7200     | 1             |
| 45    | 7200              | 6500     | 1             |
| 60    | 6500              | 6000     | 0,9           |
| 75    | 5800              | 5400     | 0,8           |
| 90    | 5200              | 4800     | 0,7           |
| 120   | 4700              | 4400     | 0,6           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 9.300 \text{ ppm} - 4.700 \text{ ppm} = 4600 \text{ ppm} \\ &= 4600/9.300 \times 100\% = 49,5\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.83 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, batch ke ;4, 10 Volt, T = 25<sup>0</sup>C**

| Waktu | Kosentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0     | 4700             | 4400     | 0,6           |
| 15    | 4200             | 4000     | 0,6           |
| 30    | 3600             | 3500     | 0,6           |
| 45    | 3100             | 3100     | 0,6           |
| 60    | 2600             | 2500     | 0,5           |
| 75    | 2200             | 2100     | 0,4           |
| 90    | 1700             | 1800     | 0,3           |
| 120   | 1500             | 1550     | 0,2           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 4.700 \text{ ppm} - 1500 \text{ ppm} = 3200 \text{ ppm} \\ &= 3200/4700 \times 100\% = 68\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.84 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada Temperatur T=30<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt dan 10 Volt, batch 1.**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0     | 25.000            | 25.000   | 3,5           |
| 15    | 21.100            | 22.000   | 3,5           |
| 30    | 17.500            | 19.100   | 3,5           |
| 45    | 15.100            | 17.600   | 3,5           |
| 60    | 14.400            | 16.500   | 3,2           |
| 75    | 13.200            | 15.300   | 3             |
| 90    | 12.200            | 13.100   | 2,9           |
| 120   | 11.600            | 12.100   | 2,8           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 25.000 \text{ ppm} - 11.600 \text{ ppm} = 13.400 \text{ ppm} \\ &= 13.400/25.000 \times 100\% = 53,6\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.85 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm pada Temperatur 30<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt dan 10 Volt, batch 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 11.600            | 12.100   | 1,5           |
| 15            | 10.100            | 10.700   | 1,5           |
| 30            | 8.900             | 9.800    | 1,5           |
| 45            | 8.400             | 9.200    | 1,5           |
| 60            | 8.200             | 8.400    | 1,4           |
| 75            | 7.500             | 7.800    | 1,2           |
| 90            | 7.100             | 7.400    | 1             |
| 120           | 6.800             | 7.200    | 0,9           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 11.600 \text{ ppm} - 6800 \text{ ppm} = 4.800 \text{ ppm} \\ &= 4.800/11.600 \times 100\% = 41,4\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.86 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm pada Temperatue 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt pada batch ke 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 ccm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.800             | 7.200    | 0,9           |
| 15            | 5.900             | 6.600    | 0,9           |
| 3 0           | 5.200             | 6.100    | 0,9           |
| 45            | 4.600             | 5.800    | 0,9           |
| 60            | 4.200             | 5.500    | 0,8           |
| 75            | 3.800             | 5.100    | 0,7           |
| 90            | 3.500             | 4.700    | 0,6           |
| 120           | 3.400             | 4.500    | 0,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 6.800 \text{ ppm} - 3.400 \text{ ppm} = 3.400 \text{ ppm} \\ &= 3.400/6800 \times 100\% = 50\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.87 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm pada Temperatur 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 3.400             | 4.500    | 0,7           |
| 15            | 3.000             | 3.900    | 0,7           |
| 30            | 2.600             | 3.500    | 0,7           |
| 45            | 2.100             | 3.100    | 0,7           |
| 60            | 1,800             | 2.700    | 0,6           |
| 75            | 1.600             | 2.400    | 0,5           |
| 90            | 1.300             | 2.100    | 0,3           |
| 120           | 1.600             | 1.900    | 0,2           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 3.400 \text{ ppm} - 1.600 \text{ ppm} = 1.800 \text{ ppm} \\ &= 1800/3400 \times 100\% = 67,6\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.88 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch 1.**

| Waktu (menit ) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|----------------|-------------------|----------|---------------|
|                | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0              | 25.000            | 25.000   | 3,7           |
| 15             | 23.800            | 23.200   | 3,7           |
| 30             | 22.800            | 21.400   | 3,7           |
| 45             | 21.900            | 20.200   | 3,7           |
| 60             | 20.800            | 19.300   | 3,5           |
| 75             | 20.100            | 18.600   | 3,4           |
| 90             | 19.600            | 18.200   | 3,2           |
| 120            | 19.100            | 18.000   | 3             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 25.000 \text{ ppm} - 19.100 \text{ ppm} = 5.900 \text{ ppm} \\ &= 5900/25000 \times 100\% = 23,6\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.89 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt untuk batch ke;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 19.100            | 18.000   | 3             |
| 15            | 18.100            | 16.400   | 3             |
| 30            | 17.400            | 15.100   | 3             |
| 45            | 16.800            | 13.800   | 3             |
| 60            | 15.900            | 12.900   | 2,8           |
| 75            | 15.200            | 12.300   | 2,7           |
| 90            | 14.700            | 11.700   | 2,6           |
| 120           | 14.500            | 11.500   | 2,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 19.100 \text{ ppm} - 14.500 \text{ ppm} = 4.600 \text{ ppm} \\ &= 4.600/19.100 \times 100\% = 24,08\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.90 Hasil Desalinasi untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 11.500            | 14.500   | 1,7           |
| 15            | 10.800            | 13.600   | 1,7           |
| 30            | 10.300            | 12.800   | 1,7           |
| 45            | 9.800             | 11.600   | 1,7           |
| 60            | 9.300             | 11.200   | 1,5           |
| 75            | 8.900             | 10.700   | 1,4           |
| 90            | 8.500             | 10.600   | 1,2           |
| 120           | 8.200             | 10.500   | 1             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 11.500 \text{ ppm} - 8.200 \text{ ppm} = 3300 \text{ ppm} \\ &= 3300/11.500 \times 100\% = 28,7\%\end{aligned}$$



**Tabel 6.91 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 8.200             | 10.500   | 1,3           |
| 15            | 7.600             | 8.700    | 1,3           |
| 30            | 7.100             | 7.300    | 1,3           |
| 45            | 6.600             | 6.400    | 1,2           |
| 60            | 6.100             | 5.600    | 1,0           |
| 75            | 5.700             | 4.900    | 0,9           |
| 90            | 5.300             | 4.200    | 0,8           |
| 120           | 5.100             | 4.000    | 0,6           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 8.200 \text{ ppm} - 5.100 \text{ ppm} = 3.100 \text{ ppm} \\ &= 3.100/8.200 \times 100\% = 50\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.92 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, untuk laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt, batch ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 3,9           |
| 15            | 26.500            | 26.800   | 3,9           |
| 30            | 24.100            | 24.500   | 3,9           |
| 45            | 22.700            | 22.300   | 3,9           |
| 60            | 21.900            | 20.400   | 3,7           |
| 75            | 19.700            | 19.600   | 3,6           |
| 90            | 19.100            | 18.800   | 3,5           |
| 120           | 19.300            | 18.400   | 3,2           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 30.000 \text{ ppm} - 19.300 \text{ ppm} = 10.700 \text{ ppm} \\ &= 10.700/30.000 \times 100\% = 35,6\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.93 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 19.300            | 18.400   | 2,5           |
| 15            | 17.800            | 16.100   | 2,5           |
| 30            | 16.300            | 14.900   | 2,5           |
| 45            | 15.000            | 13.800   | 2,5           |
| 60            | 14.100            | 13.100   | 2,3           |
| 75            | 13.200            | 12.300   | 2,2           |
| 90            | 12.800            | 11.700   | 2,1           |
| 120           | 12.600            | 11.200   | 2             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 19.300 \text{ ppm} - 12.600 \text{ ppm} = 6700 \text{ ppm} \\ &= 6.700/19.300 \times 100\% = 34,7\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.94 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 11.200   | 1,2           |
| 15            | 11.300            | 10.400   | 1,2           |
| 30            | 10.100            | 9.700    | 1,2           |
| 45            | 9.200             | 9.000    | 1,1           |
| 60            | 8.600             | 8.400    | 0,9           |
| 75            | 8.100             | 8.100    | 0,8           |
| 90            | 7.600             | 7.800    | 0,7           |
| 120           | 7.300             | 7.600    | 0,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 12.600 \text{ ppm} - 7.300 \text{ ppm} = 5.300 \text{ ppm} \\ &= 5.300/12.600 \times 100\% = 42\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.95 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 7.300             | 7.600    | 0,8           |
| 15            | 6.100             | 5.400    | 0,8           |
| 30            | 5.200             | 4.100    | 0,8           |
| 45            | 4.800             | 3.200    | 0,8           |
| 60            | 4.100             | 2.600    | 0,7           |
| 75            | 3.400             | 2.300    | 0,6           |
| 90            | 3.100             | 2.100    | 0,5           |
| 120           | 2.700             | 1.800    | 0,3           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 7.300 \text{ ppm} - 2.700 \text{ ppm} = 4.600 \text{ ppm} \\ &= 4.600/7.300 \times 100\% = 63\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.96 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada Temperatur 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 4,2           |
| 15            | 24.900            | 24.300   | 4,2           |
| 30            | 23.100            | 21.200   | 4,2           |
| 45            | 21.400            | 20.200   | 4,2           |
| 60            | 20.100            | 19.100   | 4             |
| 75            | 19.100            | 18.600   | 3,8           |
| 90            | 18.300            | 17.800   | 3,7           |
| 120           | 17.600            | 17.400   | 3,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 30.000 \text{ ppm} - 17.600 \text{ ppm} = 12.400 \text{ ppm} \\ &= 12.400/30.000 \times 100\% = 41,3\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.97 hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada Temperatur 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ;2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 17.600            | 17.400   | 2             |
| 15            | 15.200            | 15.300   | 2             |
| 30            | 13.100            | 13.900   | 2             |
| 45            | 11.800            | 12.800   | 2             |
| 60            | 10.700            | 11.900   | 1,8           |
| 75            | 10.200            | 11.500   | 1,7           |
| 90            | 10.100            | 11.200   | 1,6           |
| 120           | 9.500             | 10.800   | 1,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 17.600 \text{ ppm} - 9.500 \text{ ppm} = 8.100 \text{ ppm} \\ &= 8.100/17.600 \times 100\% = 46\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.98 Hasil Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 30.000 ppm, pada temperatur 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 9.500             | 10.800   | 1             |
| 15            | 8.600             | 9.600    | 1             |
| 30            | 8.100             | 8.900    | 1             |
| 45            | 7.800             | 8.500    | 1             |
| 60            | 7.500             | 8.100    | 0,8           |
| 75            | 7.000             | 7.800    | 0,7           |
| 90            | 6.400             | 7.500    | 0,6           |
| 120           | 6.100             | 7.300    | 0,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 9.500 \text{ ppm} - 6.100 \text{ ppm} = 3.400 \text{ ppm} \\ &= 3.400/9.500 \times 100\% = 35,8\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.99 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada Temperatur 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.100             | 7.300    | 0,9           |
| 15            | 5.200             | 5.400    | 0,9           |
| 30            | 4.400             | 4.100    | 0,9           |
| 45            | 3.600             | 3.300    | 0,9           |
| 60            | 2.800             | 2.600    | 0,8           |
| 75            | 2.100             | 2.100    | 0,6           |
| 90            | 1.500             | 1.400    | 0,5           |
| 120           | 1.200             | 1.100    | 0,4           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 6.100 \text{ ppm} - 1.200 \text{ ppm} = 4.900 \text{ ppm} \\ &= 4.900/6.100 \times 100\% = 80\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.100 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm /dt dan 10 cm/dt, batch ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 30.000            | 30.000   | 4,5           |
| 15            | 28.000            | 27.100   | 4,5           |
| 30            | 26.700            | 25.700   | 4,5           |
| 45            | 25.800            | 25.400   | 4,5           |
| 60            | 24.700            | 24.600   | 4,3           |
| 75            | 23.800            | 24.300   | 4,2           |
| 90            | 22.900            | 24.200   | 4             |
| 120           | 22.100            | 24.000   | 3,9           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 30.000 \text{ ppm} - 22.100 \text{ ppm} = 7.900 \text{ ppm} \\ &= 7.900/30.000 \times 100\% = 26\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.101 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm dt |               |
| 0             | 22.100            | 24.000   | 3,3           |
| 15            | 21.200            | 23.600   | 3,3           |
| 30            | 20.600            | 22.800   | 3,3           |
| 45            | 19.800            | 21.800   | 3,3           |
| 60            | 18.700            | 20.900   | 3,1           |
| 75            | 18.100            | 19.600   | 3             |
| 90            | 17.600            | 18.800   | 2,8           |
| 120           | 17.300            | 18.400   | 2,6           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 22.100 \text{ ppm} - 17.300 \text{ ppm} = 4.800 \text{ ppm} \\ &= 4.800/22.100 \times 100\% = 21,7\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.102 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 17.300            | 18.400   | 2,4           |
| 15            | 15.200            | 16.300   | 2,4           |
| 30            | 14.700            | 15.100   | 2,4           |
| 45            | 14.100            | 13.800   | 2,4           |
| 60            | 13.600            | 12.700   | 2,2           |
| 75            | 13.200            | 11.900   | 2             |
| 90            | 12.800            | 11.300   | 1,9           |
| 120           | 12.600            | 11.300   | 1,8           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 17.300 \text{ ppm} - 12.600 \text{ ppm} = 4.700 \text{ ppm} \\ &= 4.700/17.300 \times 100\% = 27\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.103 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 10 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 11.300   | 1,5           |
| 15            | 10.400            | 9.500    | 1,5           |
| 30            | 9.200             | 8.300    | 1,5           |
| 45            | 8.600             | 7.200    | 1,5           |
| 60            | 7.700             | 6.000    | 1,4           |
| 75            | 7.100             | 5.200    | 1,2           |
| 90            | 6.300             | 4.600    | 1,1           |
| 120           | 5.100             | 4.100    | 1             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 12.600 \text{ ppm} - 5.100 \text{ ppm} = 7.500 \text{ ppm} \\ &= 7.500/12.600 \times 100\% = 59,5\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.104 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ; 1**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 35.000            | 35.000   | 4,5           |
| 15            | 31.200            | 31.600   | 4,5           |
| 30            | 26.400            | 25.500   | 4,5           |
| 45            | 23.100            | 23.700   | 4,5           |
| 60            | 21.700            | 22.100   | 4,3           |
| 75            | 21.100            | 20.500   | 4,2           |
| 90            | 20.600            | 19.800   | 4,1           |
| 120           | 20.200            | 19.400   | 4             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 35.000 \text{ ppm} - 20.200 \text{ ppm} = 14.800 \text{ ppm} \\ &= 14.800/35.000 \times 100\% = 42,3\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.105 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 20.200            | 19.400   | 2,5           |
| 15            | 17.500            | 17.100   | 2,5           |
| 30            | 16.300            | 15.400   | 2,5           |
| 45            | 14.800            | 14.700   | 2,5           |
| 60            | 14.100            | 13.400   | 2,3           |
| 75            | 13.500            | 11.800   | 2,2           |
| 90            | 12.900            | 10.900   | 2,1           |
| 120           | 12.600            | 10.200   | 2             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 20.200 \text{ ppm} - 12.600 \text{ ppm} = 7.600 \text{ ppm} \\ &= 7.600/20.200 \times 100\% = 37,6\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.106 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 12.600            | 10.200   | 1,2           |
| 15            | 11.300            | 9.100    | 1,2           |
| 30            | 10.400            | 8.400    | 1,2           |
| 45            | 10.000            | 8.100    | 1,2           |
| 60            | 9.700             | 7.500    | 1             |
| 75            | 9.200             | 7.100    | 0,9           |
| 90            | 8.700             | 6.600    | 0,8           |
| 120           | 8.300             | 6.400    | 0,6           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 12.600 \text{ ppm} - 8.300 \text{ ppm} = 4.300 \text{ ppm} \\ &= 4.300/12.600 \times 100\% = 34\%\end{aligned}$$



**Tabel 6.107 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 25<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 8.300             | 6.400    | 0,8           |
| 15            | 6.700             | 4.900    | 0,8           |
| 30            | 5.300             | 3.700    | 0,8           |
| 45            | 4.300             | 2.900    | 0,8           |
| 60            | 3.700             | 2.600    | 0,6           |
| 75            | 3.200             | 2.200    | 0,5           |
| 90            | 3.100             | 2.000    | 0,4           |
| 120           | 2.800             | 1.700    | 0,2           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 8.300 \text{ ppm} - 2.800 \text{ ppm} = 5.500 \text{ ppm} \\ &= 5.500/8.300 \times 100\% = 66,3\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.108 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada Temperatur 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch 1.**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 35.000            | 35.000   | 5             |
| 15            | 30.200            | 31.100   | 5             |
| 30            | 25.600            | 26.700   | 5             |
| 45            | 21.300            | 22.300   | 5             |
| 60            | 18.200            | 21.800   | 4,8           |
| 75            | 17.400            | 21.400   | 4,7           |
| 90            | 16.500            | 19.900   | 4,6           |
| 120           | 16.100            | 19.600   | 4,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 35.000 \text{ ppm} - 16.100 \text{ ppm} = 18.900 \text{ ppm} \\ &= 18.900/35.000 \times 100\% = 54\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.109 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 16.100            | 19.600   | 2,2           |
| 15            | 14.900            | 18.100   | 2,3           |
| 30            | 13.700            | 16.700   | 2,2           |
| 45            | 12.800            | 15.900   | 2,2           |
| 60            | 12.000            | 15.100   | 2             |
| 75            | 11.200            | 14.000   | 1.9           |
| 90            | 10.600            | 13.800   | 1,8           |
| 120           | 10.300            | 13.200   | 1,6           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 16.100 \text{ ppm} - 10.300 \text{ ppm} = 5.800 \text{ ppm} \\ &= 5.800/16.100 \times 100\% = 36\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.110 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 30°C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 10.300            | 13.200   | 1,4           |
| 15            | 9.200             | 11.600   | 1,4           |
| 30            | 8.400             | 10.100   | 1,4           |
| 45            | 7.900             | 9.200    | 1,4           |
| 60            | 7.400             | 8.400    | 1,3           |
| 75            | 6.800             | 7.800    | 1,2           |
| 90            | 6.500             | 6.400    | 1             |
| 120           | 6.300             | 6.100    | 0,9           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 10.300 \text{ ppm} - 6.300 \text{ ppm} = 4.000 \text{ ppm} \\ &= 4.000/10.300 \times 100\% = 38,8\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.111 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 30<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 6.300             | 6.100    | 0,9           |
| 15            | 4.900             | 4.500    | 0,9           |
| 30            | 3.800             | 4.200    | 0,9           |
| 45            | 3.100             | 3.600    | 0,9           |
| 60            | 2.300             | 2.800    | 0,8           |
| 75            | 1.600             | 2.100    | 0,7           |
| 90            | 1.300             | 1.500    | 0,6           |
| 120           | 1000              | 1.200    | 0,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 6.300 \text{ ppm} - 1.000 \text{ ppm} = 5.300 \text{ ppm} \\ &= 5.300/6.300 \times 100\% = 84\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.112 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch 1.**

| Waktu (menit ) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|----------------|-------------------|----------|---------------|
|                | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0              | 35.000            | 35.000   | 5             |
| 15             | 30.600            | 31.800   | 5             |
| 30             | 27.500            | 29.000   | 5             |
| 45             | 26.600            | 27.500   | 5             |
| 60             | 25.800            | 26.500   | 4,8           |
| 75             | 25.100            | 25.400   | 4,7           |
| 90             | 24.300            | 25.200   | 4,6           |
| 120            | 24.100            | 24.700   | 4,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 35.000 \text{ ppm} - 24.100 \text{ ppm} = 10.900 \text{ ppm} \\ &= 10.900/35.000 \times 100\% = 31\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.113 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada Temperatur 35<sup>0</sup>c, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke 2**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 24.100            | 24.700   | 3,6           |
| 15            | 22.300            | 23.400   | 3,6           |
| 30            | 21.900            | 22.100   | 3,6           |
| 45            | 20.800            | 21.300   | 3,6           |
| 60            | 19.800            | 20.600   | 3,5           |
| 75            | 19.200            | 20.100   | 3,4           |
| 90            | 18.600            | 19.700   | 3,2           |
| 120           | 18.300            | 19.300   | 3             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 24.100 \text{ ppm} - 18.300 \text{ ppm} = 5.800 \text{ ppm} \\ &= 5.800/24.100 - 100\% = 24\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.114 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm, pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 3**

| Waktu (menit) | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|-------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
| 0             | 18.300            | 19.300   | 3             |
| 15            | 17.100            | 18.200   | 3             |
| 30            | 16.200            | 17.100   | 3             |
| 45            | 15.200            | 16.100   | 3             |
| 60            | 14.600            | 15.000   | 2,8           |
| 75            | 14.100            | 14.300   | 2,7           |
| 90            | 13.800            | 14.000   | 2,6           |
| 120           | 13.400            | 13.600   | 2,5           |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 18.300 \text{ ppm} - 13.400 \text{ ppm} = 4.900 \text{ ppm} \\ &= 4.900/18.300 \times 100\% = 26,7\%\end{aligned}$$

**Tabel 6.115 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada Temperatur 35<sup>0</sup>C, pada laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt, 15 Volt batch ke ; 4**

| Waktu (menit) | Konsetrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|---------------|------------------|----------|---------------|
|               | 5 cm/dt          | 10 cm/dt |               |
| 0             | 13.400           | 13.600   | 1,5           |
| 15            | 12.200           | 12.100   | 1,5           |
| 30            | 11.400           | 11.500   | 1,5           |
| 45            | 10.500           | 10.700   | 1,5           |
| 60            | 9.700            | 9.300    | 1,3           |
| 75            | 8.400            | 8.400    | 1,2           |
| 90            | 7.900            | 7.800    | 1,1           |
| 120           | 7.600            | 7.400    | 1             |

$$\begin{aligned}\text{Konversi} &= 13.400 \text{ ppm} - 7.600 \text{ ppm} = 5.800 \text{ ppm} \\ &= 5.800/13.400 \times 100\% = 43,3\%\end{aligned}$$

Data yang diperoleh dari hasil proses desalinasi air laut, kemudian dihitung masing-masing besar konversi yang diperoleh. Hasil tersebut ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 6.116 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 1**

| Temperatur (°C) | % Konversi laju alir (5 cm/dt) | % Konversi laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 38,8                           | 39,6                            | 2,3           |
| 30              | 53,6                           | 51,6                            | 3,2           |
| 35              | 23,6                           | 28                              | 3,5           |

**Tabel 6.117 % Konversi Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 2**

| Temperatur (°C) | % Konversi Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi Laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 39,2                           | 41                              | 1,2           |
| 30              | 41,4                           | 40,5                            | 1,3           |
| 35              | 24,08                          | 36                              | 2,8           |

**Tabel 6.118 % Konversi Desalinasi Air laut untuk konsentrasi 25.000 ppm, pada berbagai temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 3**

| Temperatur<br>( <sup>0</sup> C) | % Konversi<br>Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi<br>laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus<br>(A) |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 25                              | 49,5                              | 50,6                               | 0,9              |
| 30                              | 50                                | 37,5                               | 0,8              |
| 35                              | 28,7                              | 27,6                               | 1,5              |

**Tabel 6.119 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 25.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 4**

| Temperatur<br>( <sup>0</sup> C) | % Konversi<br>Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi<br>laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus<br>(A) |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 25                              | 68                                | 65                                 | 0,5              |
| 30                              | 67,6                              | 57,7                               | 0,6              |
| 35                              | 50                                | 62                                 | 1,0              |

**Tabel 6.120 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 1**

| Temperatur<br>( <sup>0</sup> C) | % Konversi<br>Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi<br>laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus<br>(A) |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 25                              | 35,6                              | 38,7                               | 3,7              |
| 30                              | 41,3                              | 42                                 | 3,9              |
| 35                              | 26                                | 20                                 | 4,3              |

**Tabel 6.121 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 2**

| Temperatur<br>( <sup>0</sup> C) | % Konversi<br>Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi<br>laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus<br>(A) |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 25                              | 34,7                              | 39,1                               | 2,3              |
| 30                              | 46                                | 38                                 | 1,8              |
| 35                              | 21,7                              | 23,3                               | 3                |

**Tabel 6.122 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi umpan 30.000 ppm, pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 3**

| Temperatur<br>( <sup>0</sup> C) | % Konversi<br>Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi<br>laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus<br>(A) |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 25                              | 42                                | 32                                 | 0,95             |
| 30                              | 35,8                              | 32,4                               | 0,8              |
| 35                              | 27                                | 38,6                               | 2,2              |

**Tabel 6.123 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 30.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 4**

| Temperatur (°C) | % Konversi Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 63                             | 76                              | 0,67          |
| 30              | 80                             | 85                              | 5,9           |
| 35              | 59,5                           | 63,7                            | 1,3           |

**Tabel 6.124 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 1**

| Temperatur (°C) | % Konversi Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 42,3                           | 44,6                            | 4,3           |
| 30              | 54                             | 44                              | 4,7           |
| 35              | 31                             | 29,4                            | 4,8           |

**Tabel 6.125 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 2**

| Temperatur (°C) | % Konversi Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 37,6                           | 47,4                            | 2,3           |
| 30              | 36                             | 32,6                            | 1,9           |
| 35              | 24                             | 21,8                            | 3,5           |

**Tabel 6.126 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 3**

| Temperatur (°C) | % Konversi Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 34                             | 37,25                           | 1             |
| 30              | 38,8                           | 53,78                           | 1,2           |
| 35              | 26,7                           | 29,5                            | 2,8           |

**Tabel 6.127 % Konversi Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi 35.000 ppm pada berbagai Temperatur, laju alir dan kuat arus, untuk batch ke ; 4**

| Temperatur (°C) | % Konversi Laju alir (5 cm/dt) | % Konversi laju alir (10 cm/dt) | Kuat arus (A) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 25              | 66,3                           | 73,4                            | 0,6           |
| 30              | 84                             | 80                              | 0,8           |
| 35              | 43,3                           | 45,6                            | 1,3           |

### 6.11 Perhitungan kebutuhan Energi pada proses desalinasi air laut dengan proses Elektrodialisis

**Perhitungan Energi berdasarkan proses desalinasi air laut secara konvensional.**

Menggunakan persamaan (1) ;  $E = n.I^2.R.t = n.I.V.t$

dengan :  $n$  = jumlah pasangan sel

$I$  = Arus (A)

$V$  = Voltase (volt)

$t$  = waktu (jam)

**Tabel 6.128 Hasil perhitungan Desalinasi air laut secara konvensional untuk 25.000 ppm, berbagai temperatur, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, t=4 jam, volume = 8 lt**

| Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Total Arus (A) | E (Energi), watt.jam/lt |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 25                                | 10,65          | 42,6                    |
| 30                                | 13,05          | 52,2                    |
| 35                                | 13,20          | 52,8                    |

**Tabel 6.129 Hasil perhitungan Desalinasi air laut secara konvensional untuk 30.000 ppm, berbagai temperatur, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, t=4 jam, volume = 8 lt**

| Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Total Arus (A) | E(energi), watt.jam/.lt |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 25                                | 11,86          | 47,44                   |
| 30                                | 15,18          | 60,75                   |
| 35                                | 15,38          | 61,5                    |

**Tabel 6.130 Hasil perhitungan Desalinasi air laut secara konvensional untuk 35.000 ppm, berbagai temperatur, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, t=4 jam, volume = 8 lt**

| Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Total Arus (A) | E (Energi), watt.jam/lt |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 25                                | 16,32          | 65,3                    |
| 30                                | 18,56          | 74,24                   |
| 35                                | 21             | 84                      |



**6.12 Hasil Perhitungan kebutuhan Energi berdasarkan proses Desalinasi air laut dengan Elektrodialisis secara rencana penelitian.**

**Tabel 6.131 Hasil perhitungan Desalinasi air laut untuk 25.000 ppm, berbagai temperatur, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, t = 8 jam, volume = 8 lt**

| Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Total Arus(A) | E (Energi), watt, jam./lt |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------|
| 25                                | 4,9           | 9,8                       |
| 30                                | 5,9           | 11,8                      |
| 35                                | 8,8           | 17,6                      |

**Tabel 6.132 Hasil perhitungan Desalinasi air laut untuk 30.000 ppm, berbagai temperatur, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, t = 8 jam, volume = 8 lt**

| Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Total Arus(A) | E (Energi), watt, jam./lt |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------|
| 25                                | 7,62          | 15,24                     |
| 30                                | 12,4          | 24,6                      |
| 35                                | 10,8          | 21,6                      |

**Tabel 6.133 Hasil perhitungan Desalinasi air laut untuk 35.000 ppm, berbagai temperatur, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, t = 8 jam, volume = 8 lt**

| Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Total Arus(A) | E (Energi), watt, jam./lt |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------|
| 25                                | 8,2           | 16,4                      |
| 30                                | 8,6           | 17,2                      |
| 35                                | 12,4          | 24,8                      |

**6.13 PEMBAHASAN**

Untuk mengetahui besarnya energi yang diperlukan pada proses desalinasi air laut sesuai rencana penelitian maka, dilakukan proses desalinasi pada air laut dengan melewati pada membran ED dengan perlakuan konsentrasi, temperatur, laju alir dan arus yang dipergunakan adalah sebesar 70 – 80 % dari arus batas. Hasil desalinasi air laut secara konvensional dapat dilihat pada Tabel 6.1 hingga 6.37. Hasil desalinasi air laut sesuai rencana penelitian dapat dilihat pada tabel 6.44 hingga tabel 6.79, dengan menggunakan besarnya arus batas dari tabel 6.42. Waktu yang dipergunakan untuk setiap proses batch adalah selama 2 jam dengan waktu pengambilan data hasil diluat setiap 15 menit. Pada waktu 2 jam hasil yang diperoleh sudah mencapai 40%-50% dan ini sesuai dengan kemampuan alat ED. Arus batas tetap dijaga sesuai dengan ketentuan masing-masing perlakuan.

Pada konsentrasi 25.000 ppm diperoleh hasil desalinasi terbaik pada  $T=30^{\circ}\text{C}$  dan laju alir 5 cm/dt dan 10 cm/dt yaitu dengan hasil air tawar 1600 ppm dan 1900 ppm. Pada desalinasi air laut konsentrasi 30.000 ppm, hasil terbaik yang diperoleh pada  $T=30^{\circ}\text{C}$ , yaitu 1200 ppm dan 1100 ppm, dan pada konsentrasi 35.000 ppm hasil terbaik pada  $30^{\circ}\text{C}$  dengan hasil air tawar konsentrasi 1000 ppm dan 1200 ppm.

Dari hasil desalinasi ini, dapat dilihat bahwa hasil yang terbaik diperoleh pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$ , hal ini menandakan bahwa pada  $T = 30^{\circ}\text{C}$  pada setiap perlakuan konsentrasi berada pada keadaan arus yang sesuai dengan jumlah ion yang dipindahkan sedangkan pada konsentrasi 35.000 ppm diperoleh hasil terbaik 1000 ppm untuk laju alir 5 cm/dt. karena pada keadaan ini arus yang dipergunakan sesuai dengan arus batasnya, yaitu jumlah ion yang dipindahkan sesuai dengan arus yang ada, sehingga tidak terjadi arus yang berlebih yang dapat mengakibatkan air terdisosiasi. Pada temperatur  $35^{\circ}\text{C}$ , besarnya kebutuhan arus semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa pada  $T=35^{\circ}\text{C}$  arus sudah melampaui arus batas sehingga terjadi disosiasi air yang akan menambah jumlah ion pada diluat. Hal ini disebabkan semakin besarnya daya hantar listrik dari larutan sebagai akibat dari semakin tinggi temperatur, menurut teori hal ini dapat menyebabkan bertambahnya arus yang dipergunakan.

#### **Hasil perhitungan konversi larutan garam menjadi air tawar**

Untuk mengetahui kinerja dari modul Elektrodialisis adalah dengan menghitung besarnya konversi yang diperoleh. Hasil desalinasi air laut secara penelitian dihitung untuk masing-masing besar konversi yang diperoleh, dengan cara, untuk 25.000 ppm batch 4, laju alir 5 cm/dt,  $T = 30^{\circ}$ ,  $3400 \text{ ppm} - 1600 \text{ ppm} = 1800 \text{ ppm}$  dan  $1800/3400 = 57,6 \%$ . Hasil perhitungan konversi dapat dilihat pada tabel 5.80 sampai dengan 5.91. Untuk perlakuan konsentrasi 25.000 ppm dari tabel 5.83 pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$ , 5 cm/detik hasil terbaik diperoleh 67,6% dengan kuat arus 0,6A . Hal ini sesuai dengan cara kerja alat ED yang mempunyai kemampuan konversi sekitar 40%-50%. Pada batch ke 2, temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  hasil konversi 41,4% . Pada batch ke 3,  $T = 30^{\circ}\text{C}$  hasil 50% dan pada batch ke 4,  $T=30^{\circ}\text{C}$ . Sehingga hasil terbaik yang diperoleh untuk konsentrasi air laut 25.000 ppm adalah pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  dan laju alir 5cm/dt, namun demikian untuk seluruh perlakuan konsentrasi, pada batch ke 4 mendapat hasil konversi  $> 40\%$ . Pada konsentrasi 30.000 ppm untuk batch 1, hasil konversi terbaik diperoleh pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$ , 10cm/dt yaitu 42% dengan kuat arus 3,9. Pada batch ke 2,  $T=30^{\circ}\text{C}$  laju alir 5cm/dt

= 40% . Pada batch ke 3, diperoleh konversi 42% untuk laju alir 5cm/detik  $T=25^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pada batch ke : 4 hampir seluruh perlakuan menghasilkan konversi >40%, dan hasil terbaik untuk 35.000 ppm adalah pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  yaitu 85%.

#### **6.14 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, analisa data dan pembahasan, maka penelitian ini menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Parameter temperatur umpan dan konsentrasi umpan berpengaruh terhadap proses desalinasi air laut dengan menggunakan ED.
2. Parameter laju alir umpan tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil TDS air tawar pada proses desalinasi air laut dengan proses ED.
3. Temperatur optimal umpan yang dapat menghasilkan air tawar dengan kandungan TDS terbaik adalah pada  $30^{\circ}\text{C}$ .
4. Keberhasilan pengurangan penggunaan energi listrik pada penelitian ini adalah mencapai efisiensi hingga 66%.
6. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan hambatan pada proses desalinasi air laut dengan proses ED adalah adanya fouling dan konsentrasi polarisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aciplex R membrane electrodialysis (2003)
- Ackerman, Eugene., Ellis, Williams (1988). "Ilmu Biofisika" Penterjemah Redjani. dan Abdulbasir, Penerbit Universitas Airlangga.
- Adhi TP, Purwadi R. (1997). "Kajian Teoritik Penerapan Elektroforesis dalam Peningkatan Kinerja Bioreaktor Membran untuk Reaksi Enzimatik". Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Institut Teknologi Surabaya.
- Anderson, Herbert L (1989). "*A Physicist's Desk Reference*".
- Arnold v.R, (1987). "Elektronika", PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Baker, R.W, Cussler, E.L, Eykamp, W, Koros, W.J, Riley, R.L, Strathmann, H. (1991). "*Membrane Separation System*". Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Bard, Allen J. Faulkner, LarryR, (1980). "*Electrochemical Methods*". John Wiley & Sons.
- Billmeyer F.W, , (1984). "*Textbook of Polymer Science*", John Wiley and Sons, Inc, Singapore.
- Biro Bina Kependudukan dan lingkungan hidup Sekretariat Wilayah/Daerah Tingkat I Jawa Timur (1990). "Baku cara uji air dan air limbah di Jawa Timur"..
- Bockris, John O'M. Reddy, Amulya K.N, (1977). "*Modern Electrochemistry*". Plenum Press, New York.
- Bungay, P.M. Lonsdale. Pinho. , (1986). "*Synthetic Membrane : Science, Engineering and Applications*". D.Reidel Publishing Company.
- Center for Membrane Science and Technology (1996). "*Membrane Technology for Industri and Environmental Protection*". Workshop Institut Teknologi Bandung
- Cheryan, Munir. (1986). " *Ultrafiltration Handbook*", Technomic Publishing CO INC.
- Drioli, E. Lorio, G. dan Gatapano, G. (1990). "*Handbook of Industrial Membrane Technology*", editor Porter, M.C.First ed, Noyes Publications, USA.
- Harian Kompas (1999). "Mengolah Air Minum dengan Membran".

- Hartomo, A. J, Widiatmoko, M.C. (1994). "Teknologi Membran Pemurnian Air". Andi Offset Yogyakarta.
- H.D.S.T, Sumihar., Setiadi, T., Wenten, I.G., (2000). " Aplikasi teknologi membran dalam pengolahan limbah cair". Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2000.
- Horie, Hirofumi., Tanaka, Yutaka., Aoki, Yoshiharu, Aoki., Shibata, Hidenori., and Kawahara, Takuo., (1993). " *The High Performance Ellectrodialysia Pro vess for Concentration of Seawater*". Seventh Symposium on Salt, Vo. 11, hal.71-77.
- <http://www.pca-gmbh.com/appli/ed.htm>
- <http://www.rsc.org/chemistryworld/>
- Keenan, Kleinfelter, Wood (1991). " *General College Chemistry vol.1*". Harper & Row, Publisher Inc, hal. 448-454.
- Keenan, Kleinfelter, Wood (1991). " *General College Chemistry Vol 2*". Harper & Row, Publisher Inc, hal. 318-330.
- King, C.J., (1980). " *Separation Process*", Ed. 2, Mc. Graw Hill, New York.
- Laksminarayanaiah, N. (1969). " *Transport Phenomena in Membranes*". Academics Press New York and London
- Mahreni, (2000). " Pemodelan Sistem Distilasi membran tipe *Sweeping gas*". Tesis Magister , Bidang Studi Teknik Kimia Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung.
- McCabe, Warren L, Smith. Julian. (1976). " *Unit Operational of Chemical Engineering*" Edisi tiga. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Montgomery, James M. (1985). " *Water Treatment Principles and Design*". John Wiley & Sons Inc.
- Montgomery. Rex, Conway. T.W, Spector.A.A (1990). "Biokimia berorientasi pada Kasus-Klinik". Binarupa Aksara Jakarta.
- Mulder, M.(1991), " *Basic Principles of Membrane Technology*". Kluwer Academy Pub London.
- Nur Rahayu Lif Indah dan Sulistiyorini.Dwiatmi, (1999). "Desalinasi Air Payau secara Reverse Osmosis Tekanan rendah". Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung.

- Nybakken, James.W (1992). "Biologi Laut suatu pendekatan ekologis". PT Gramedia Jakarta.
- Ohtaka, Hisashi., Ohkubo, Kazuya., Takeda, Mitsuhiro., Tanaka, Yoshinobu., Sugo, Takanobu.and Ishagaki, Isao. (1993). " *Synthesis of Ion-Exchange Membranes by Radiation Graft Polymerization*". Seventh Symposium on Salt, Vol.11 hal. 89-93.
- Perry, J.H. (1973), "*Chemical Engineering, Handbook*", Ed.5. McGraw Hill, Kogakusha Company LTD.
- Perry, J.H. (1997), "*Chemical Engineering, Handbook*", Ed.7. McGraw Hill, Kogakusha Company LTD.
- Rautenbach, R. Albrecht, R. (1989). "*Membrane Processes*". John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Redjeki S, 2004. *Kajian Perlakuan Awal desalinasi air laut dengan proses Mikrofiltrasi*. Seminar Nasional Teknik Kimia"Kejuangan" 2004, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Yogyakarta
- Redjeki S, 2006. *Desalinasi air payau dengan prose Elektrodialisis*. Seminar Nasional "Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri", Jurusan Teknik Kimia, Mesin, Pusat Studi Ilmu Teknik UGM Yogyakarta.
- Redjeki S, 2004. *Kajian awal Pengurangan Fouling pada desalinasi air payau dengan proses Elektrodialisis*. Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan proses 2004, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Redjeki S, 2006. *Kajian pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air payau dengan proses Elektrodialisis*. Hibah Bersaig Tahun Pertama.
- Redjeki S, 2007. *Kajian pengurangan penggunaan energi pada desalinasi air laut dengan proses Elektrodialisis*. Hibah Bersaig Tahun Kedua.
- Sata Toshikatsu (1996). " *Trends in Ion Exchange Membran Research*". International Congress on Membranes and Membran Processes, The Membrane Society of Japan.
- Schoeman, Japie, J. Thompson, Mark, A. (1996). " *Water Treatment Membrane Processes*". Editorial Group : J, Mallevialle. Peter, E, O. Mark, R, W. McGraw-Hill, New York San Francisco Washington, D.C. Auckland Bogota Caraces Lisbon London Madrid Mexico City Milan Montreal New Delhi San Juan Singapore Sydney Tokyo Toronto.
- Scott Keith, (1995). "*Handbook of Industrial membranes*" Elsevier Advanced Technology, First edition.

- Seader.J.D, Herley.J.Ernest, (2001). "Separation Process principles", John Wiley & Sons, Inc. New York/Chichester/Weinheim/Borisbane/Singapore/Toronto.
- Sidney B.T, Turoner (1962). "*Diffusion and Membrane Technology ACS Monograph No. 156*". Heinhold Publis Corporation New York, pp 237-286.
- Simon G.P., (1986). "Desalination", 59, August.
- Sirkar . Kamalesh K, Winston. W.S (1992). "*Membrane Handbook*", Va Nortrand Reinhold, New York.
- Soetrisno, (2008). "Membran Baru untuk Efisiensi Desalinasi"
- Sumada, Ketut. (1992). "Flokulasi dalam unggun terfluidakan". Tesis Program Magister Pascasarjana Bidang Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Takahashi .K, Konagai.M. (1986). "*Amorphous Silicon Solar Cells*". Nort Oxfor Academic Publishers Ltd.
- Takase H and Yoshimura. (1991). "*Recovery of Heavy metal ion from slurry adsorbentby ion exchange membrane*". Chemical Engineering of Japan Journal.24. 500 - 504.
- Wisniewskn, G., Koter, S., Narebska, A., Winnicki, T. (1989). "*Transport Properties of Ion-Exchange Membrane for The Desalination of Brackish water*". International Technical Conference on Membrane Separation Processes. Technical University of Wroclaw, Poland.

## Glosarium

### Membran

Lapisan tipis semipermeabel yang berfungsi sebagai alat pemisah berdasarkan sifat fisiknya

### Semipermeabel

Dapat dilewati hanya oleh senyawa/bahan tertentu saja

### Materi

Bahan yang akan dipisahkan

### Selektif

Secara terseleksi

### Potensial Listrik

Jumlah dari gaya oleh arus listrik

### Potensial membran

Beda potensial antara dua larutan yang berbeda konsentrasinya dan dipisahkan oleh membran penukar ion. Potensial membran merupakan jumlah dari potensial Donnan pada kedua permukaan membran dan potensial difusi sepanjang bagian dalam membran

### *Fouling*

Adalah suatu fenomena yang disebabkan oleh deposisi dan akumulasi secara irreversible dari partikel – partikel submikron pada permukaan membran dan atau kristalisasi serta presipitasi dari partikel – partikel yang berukuran kecil pada permukaan atau di dalam membran – membran itu sendiri

### Polarisasi konsentrasi

Adalah peningkatan lokal konsentrasi solute pada permukaan membran.

### Ion

Molekul bermuatan listrik

### Makromolekul

Senyawa yang mempunyai berat molekul cukup besar

### Elektrodialisis

Adalah proses pemisahan secara elektrokimia dengan ion-ion berpindah melintasi membran selektif anion dan kation dari larutan encer ke larutan yang lebih pekat akibat aliran arus listrik searah.

### *Reverse osmosis*

Adalah proses pemisahan dengan membran berdasarkan gaya dorong tekanan, digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya.

### Nanofiltrasi

Adalah proses pemisahan campuran komponen (*desirable component* dari *undesirable component*) yang pada umumnya akan sulit dipisahkan karena kecilnya ukuran partikel

### Ultrafiltrasi

Adalah suatu proses membran yang sifatnya terletak antara hiperfiltrasi ( atau osmosis berlawanan / kebalikan ) dan mikrofiltrasi.

### Mikrofiltrasi

Adalah proses pemisahan yang dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu dibawah 2 bar. Membran MF memiliki ukuran pori antara 0,02 sampai 10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10 sampai 150  $\mu\text{m}$ .

### Dialisis



Digunakan untuk memisahkan garam dan microsolute dari larutan yang mengandung makromolekul

#### Distilasi

Adalah proses pemisahan berdasarkan beda konsentrasi

#### Distilasi Membran

Adalah pemisahan dengan media kontak membran hidrophobik berpori. Proses tersebut terutama ditujukan untuk pemekatan larutan

#### Cross flow filtrasi

Pemisahan yang dilakukan dengan umpan dialirkan arah aksial (sejajar) dengan permukaan membran

#### Inlet feed

Aliran umpan masuk

#### Permeate

Aliran yang dapat melewati lapisan membrane

#### Outlet permeate

Aliran permeate yang keluar

#### Rententate

Aliran yang tertahan pada permukaan membrane

#### Outlet rententate

Aliran rentate yang keluar

#### Desalinasi

Proses pengurangan kandungan garam di dalam suatu larutan

#### Spacer

Spacer (pengatur jarak) berfungsi untuk memisahkan letak kedua membran dan sebagai penguat kedudukan membran, selain itu juga untuk mengatur kontrol larutan feed, karena itu spacer dilengkapi dengan lubang dan saluran untuk lewat aliran dan sekat (screen)

#### Back flushing

Teknik pembilasan balik (*back flushing*) dengan menggunakan permeate

#### Fluks

Jumlah permeate dihasilkan per satuan waktu per satuan luas permukaan membran ( $\text{kg/m}^2 \text{ jam}$ ).

#### Driving force

Beda gaya dorong pada membrane

#### Membran berpori

Membran dengan prinsip pemisahan didasarkan pada perbedaan ukuran partikel dengan ukuran pori membran. Selektivitas pemisahan ditentukan oleh ukuran pori dan hubungannya dengan ukuran partikel yang akan dipisahkan

#### Membran tak berpori

Membran yang mampu memisahkan molekul-molekul yang memiliki ukuran sangat kecil dan tidak dapat dipisahkan dengan membran berpori. Prinsip pemisahannya berdasarkan perbedaan kelarutan dan atau kemampuan berdifusi

#### Membran cair

Membran yang pemisahannya tidak ditentukan oleh membrannya ataupun bahan pembentuk membran tersebut, tetapi oleh sifat molekul pembawa yang sangat spesifik. Media pembawa merupakan cairan yang terdapat dalam pori-pori membran berpori. Permeaselektivitas terhadap suatu komponen bergantung terutama pada kespesifikan molekul pembawa.

## Modul

Unit operasi tunggal atau unit terkecil membran yang memiliki luas tertentu dimana membran tersebut dirancang secara teknis untuk digunakan disebut sebuah modul

## Modul membrane

Merupakan bagian inti dari suatu instalasi membran. Modul membrane terdiri atas membran, struktur penahan tekanan, inlet feed, outlet permeate dan outlet retentate.

## Modul tubular

Merupakan membran lurus yang dikelilingi oleh lapisan pendukung berpori (porous sublayer) dan tube penyangga. Umpan mengalir dibagian dalam sepanjang tube dan permeate melalui membran ke dalam lapisan pendukung berpori (porous support tube) dan lubang-lubang pada porous support tube.

## Modul spiral wound

Desain modul ini menyerupai susunan sandwich yang terdiri dari beberapa membran datar (flat sheet), spacer, dan material berpori yang dililitkan mengelilingi suatu saluran pengumpul permeate (permeate collecting tube).

## Modul hollow fiber

Modul ini terdiri dari susunan serat yang sangat halus yang disusun menjadi suatu bundel dalam suatu shell silindris, dimana dalam satu bundel terdapat 5 – 10000 serat.

## Modul Plate and Frame

Modul ini terdiri atas lembaran membran dan plat penyangga (support plate). Membran dan plat disegel dengan menggunakan gasket atau dapat juga direkatkan langsung dengan heating seal (menggunakan panas) atau perekat tertentu untuk membentuk suatu elemen membran yang menyatu

## Permeabilitas

Menyatakan ukuran kecepatan suatu spesi tertentu untuk melewati membrane

## Permeselektivitas

Adalah kemampuan membran untuk menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu. Untuk membran berpori permeselektivitas ditentukan oleh batas berat molekul yang dapat ditahan.

## Inversi fasa

Adalah proses dimana polimer ditransformasikan dalam keadaan cair menjadi padat. Proses pemadatan ini dimulai dari transisi dari keadaan cair sampai menjadi dua cairan ( liquid – liquid demixing ).

## Termoporometry.

Metode ini didasarkan atas pengukuran kalorimetrik atas perubahan padat – cair dalam benda berpori. Metode ini memanfaatkan perbedaan temperatur pembekuan air di dalam pori membran dan pengukurannya dilakukan dengan menggunakan alat *differential scanning calorimeter*.

## Permporimeter

Metode ini didasarkan atas pengukuran penyumbatan pori dari gas yang terkondensasi dan fluks gas yang melewati membran secara bersamaan

## MWCO ( *Molecular Weight Cut Off* )

Yakni berat molekul dimana 90% fraksi dari suatu solut tertahan disuatu permukaan membran.

## Sistem Dead-End

Sistem operasi ini, arah aliran umpan yang digunakan tegak lurus terhadap membran.

## Sistem Cross-Flow

Umpan dialirkan dengan arah aksial (sejajar) dengan permukaan membran.

### *Back flushing*

Merupakan teknik yang paling umum digunakan dalam proses penghilangan zat pengotor (*fouling*) yang terakumulasi dipermukaan membrane umumnya dilakukan dalam 2 cara, yaitu :

- Pembilasan balik (*back flushing*) dengan menggunakan permeat
- Rangkaian pencucian yang terdiri dari penghembusan udara yang melalui membran dan membilasnya dengan larutan umpan.

### *Stack*

Jejeran membran Elektrodialisis

### Elektroda

Suatu lempeng logam tipis tempat berlangsungnya setengah reaksi (reaksi atau reduksi)

### Katode

Elektrode bermuatan negative tempat terjadinya proses reduksi

### Anode

Elektrode bermuatan positif tempat terjadinya proses oksidasi

### Arus batas ( $i_{lim}$ )

Yaitu arus yang cukup dipergunakan untuk mentransfer seluruh ion yang ada

### Elektrodialisis Reversal (EDR)

Yaitu suatu proses pembalikan kutub listrik pada proses membrane elektrodialisis

### *Flushing*

Penggelontoran cairan dalam sel

### Membran Komposit

Merupakan kombinasi dari dua atau lebih lapisan membran.

### Derajat Penggembungan

Merupakan salah satu metode untuk mengetahui terjadinya ikatan silang suatu polimer.

### Metode *Bubble Point*

Untuk menentukan ukuran pori dari membrane

### *Barrier*

Penghalang bagi kedua zat yang akan dipisah.

### Tekanan *breakthrough*

Tekanan minimum dibutuhkan oleh cairan untuk melakukan penetrasi ke dalam pori

### Kinetika transport ion

Kecepatan perpindahan ion

### Migrasi

Perpindahan partikel bermuatan ion dibawah pengaruh suatu medan listrik, (gradien : potensial listrik)

### Difusi

Perpindahan partikel di bawah pengaruh perbedaan konsentrasi ( gradien : konsentrasi).

### Biodegradable

Dapat dihancurkan oleh mikroorganisme

### Regenerasi

Pencucian membrane

## Indeks

Adsorpsi, 34,40,41,42,43,60  
Adsorpsi dan desorpsi gas, 34  
Air Gap Membrane Distillation (AGMD), 75,76  
Air laut, 2,4,5,6,7,11,12,38,47,53,59,64,65,72,94,96,97,98,99,100,104,105,106,107,108,109,111,112,114,115,116,120,130,131,132,133,134,135,136,137,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147,148,158,159,160,161,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175,176,177,178,179,180,181,182,183,184,185,186,187,188,189,190,191,192,193,194,197  
Air payau, 6,7,47,104,105,109,112,114,115,116,117,118,120,121,122,127,128,129,135,196,197  
Air tawar, 5,11,12,72,104,106,107,109,115,117,118,120,129,131,132,133,134,136,193,194,216  
Anggur, 47,91  
Anode, 45,47,49,52,53,54,62,202  
Arus batas, 61,63,117,122,126,127,129,133,149,157,158,192,193,202  
Arus searah, 46  
Aseton, 36  
Automotif, 32  
Bahan makanan, 32  
*Barrier*, 49,75,99,202  
Batch, 23,26,27,56,57,127,128,129,137,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147,148,158,159,160,161,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175,176,177,178,179,180,181,182,183,184,185,186,187,188,189,190,192,193,194,216,217  
Biodegradable, 36,202  
Bioteknologi, 87,88  
*Cake filtration*, 40,41  
Selulosa acetat, 23,26  
*Channel*, 42,82  
*Channeling*, 82  
Cleaning, 31,59  
*Complete pore blocking*, 40  
Continuous, 23,27  
CORAL, 86  
*Corn syrup*, 73  
Creep, 36  
*Crosslinking*, 49  
Dairy, 32  
Darah, 38,74,75  
Demineralisasi, 47,54,55,56,57,73  
*Dense*, 66,98  
Desorpsi, 34,40,86  
Dialisis, 6,12,16,27,29,32,38,45,46,47,48,49,56,59,61,74,75,94,99,108,109,110,112,114,115,116,117,118,119,130,131,132,135,191,192,193,197,199,202,215  
*Differential scanning calorimeter*, 34,201  
Difusi, 17,44,69,73,84,100,101,111,199,200,202  
Dimetil asetamida, 69

Dimetilformida, 69  
 Dimetil sukfosida, 69  
 Direct Contact Membrane Distillation (DCMD), 76  
 Disinfection, 107  
 Disosiasi, 61,193  
 Distilasi membran, 6,12,75,76,81,99,101,102,103,104,112,116,132,196  
 EDR, 59,61,62,202  
 EDTA, 43  
 Electroplating, 47  
 Elektrode, 45,46,47,49,52,54,55,62,120,136,202  
 Elektrodialisis, 6,12,16,27,29,45,46,47,48,49,56,59,61,94,99,108,109,110,112,114,  
 115,116,117,118,119,130,131,132,135,191,192,193,197,199,202,215  
 Elektrolisa, 47  
 Elektron, 34,71,195  
 Emulsi, 11,26,27,30,32,59,73,74,93  
 Enhancement factor, 85  
 Entrainment, 82,83  
 Enzim, 32,195  
 Etil asetat, 36  
 Etil diklorida, 36  
 Farmasi, 32,38  
 Feed, 18,22,25,31,51,52,56,57,70,118,120,136,200,201  
 Filter, 14,15,31,38,48,53,60,72,106  
 Flooding, 82,83  
 Fluks, 24,26,36,39,40,41,59,60,65,66,67,69,70,78,80,81,82,100,101,200,201,215  
 Flushing, 22,31,43,62,200,202  
 Foaming, 82  
 Fouling, 7,11,16,26,27,37,39,40,41,42,43,58,59,60,62,63,75,99,107,111,112,115,  
 131,194,197,199,202,  
 Fraksi, 4,34,70,75,79,101,201  
 Gas Inert, 34  
 Gasket, 20,49,52,53,201  
 Gradien konsentrasi, 15,27,107  
 Gradien tekanan, 15,26  
 Gradien temperatur, 15,27  
 Hagen – Poiseuille, 24  
 Heterogen, 50  
 Hidropobik, 77,79  
 Hiperfiltrasi, 30,65,199  
 Hollow Fiber, 19,22,30,31,42,76,83,84,86,87,201  
 Homogen, 50  
 Intermediate pore blocking, 41  
 Internal pore blocking, 40,41  
 Inversi fasa, 32,33,201  
 Irreversible, 11,26,39,199  
 Kalorimetri, 34,201  
 Karaginan, 89  
 Karbon aktif, 43,60  
 Katode, 45,47,49,52,53,54,62,202

Kelapa sawit, 90  
 Kinetika, 202,216  
 Koloid, 7,11,16,26,27,30,38,60,94,120,136  
 Kompartemen, 46,49  
 Komposit, 33,67,68,202  
 Konsentrat, 15,46,49,53,54,55,56,57,62,117,120,133,136,215  
 Kontaktor, 82,83,84,85,86  
 Kontinyu, 26,27,41,63,73,93  
 Makromolekul, 11,16,26,74,93,199,200  
 Materi, 15,21,26,81,94,112,199  
 Material, 7,8,9,11,21,23,24,32,33,35,36,40,42,43,50,66,69,85,201  
 Membran berpori, 17,25,26,27,30,33,85,200  
 Membran cair, 16,17,27,29,73,74,93,94,200  
 Membran hidrophobik, 43,75,99,200  
 Membran selektif, 45,108,109,111,199  
 Membran tak berpori, 17,27,200  
 Metalurgi, 32,38  
 Micrometer, 16,70  
 Migrasi, 50,202  
 Mikroba, 36  
 Mikrofiltrasi, 16,17,23,27,29,30,36,68,94,134,197,199,215  
 Mikroorganisme, 8,10,30,59,60,94,120,136,202  
 Minyak jarak, 90  
 Modul, 12,16,18,19,20,21,22,25,26,27,30,31,36,37,38,42,48,49,56,57,58,59,75,  
 76,94,112,120,136,193,200  
 Monomer, 8,67,68,200  
 Muatan, 30,34,45,46,50,51,194,202  
 MWCO, 34,38,93,201  
 NaCl, 104,109,116,117,132,133,212,213,214,215  
 Nanofiltrasi, 16,23,29,72,84,104,105,199  
 Nitrogen, 34,68  
 Nitropropana, 36  
 Packing densitas, 31  
 Padatan tersuspensi, 39,71  
 Pengolahan, 4,6,7,22,32,38,59,72,74,89,90,91,92,106,107,131,196  
 Pengolahan air, 4,6, 7,22,32,38,59,72,89,106,107,113,115,131  
 Perbedaan konsentrasi, 84,202  
 Perbedaan tekanan, 24,30,75,100,202  
 Perbedaan temperatur, 34,201  
 Permeabilitas, 17,24,51,65,69,70,72,93,104,201  
 Permeate, 15,18,19,21,22,200,201  
 Permporimeter, 34,201  
 Permselektivitas, 25,69,70  
 Pervaporasi, 16  
 Plate and frame, 19,20,21,30,31,42,201  
 Platina, 52  
 Polarisasi, 7,11,16,27,39,40,43,44,54,58,77,78,79,81,82,100,111,112,194,199  
 Polimer, 8,9,17,32,33,35,41,49,60,66,67,68,69,70,71,79,81,200,201  
 Polimer polycrilonitril, 33

Polisulfon, 7,8,11,32,69,  
 Poly acrilonitril, 23  
 Polyamide, 23,26,35,66  
 Polysulfon, 23,32,41  
 Pori *dead end*, 34  
 Porositas, 24,34,80,81  
 Potensial kimia, 65,93  
 Potensial listrik, 15,26,51,199,202  
 Power, 119,135  
 Protein, 32,39  
 Regenerasi, 59,86,203  
 Regenerated celulosa, 23  
 Rejeksi, 25,30,34,36,42,67,69,70,80,93,94,104,105  
 Renewable, 36  
 Residen time, 52  
 Resin, 36,49,50,93  
 Resistensi, 35,36,44,66  
 Reverse osmosis, 4,6,11,12,16,23,26,29,30,64,65,66,72,84,94,104,105,106,107,  
 108,112,116,132, 196,199  
 Reversible, 11,26,39,45,199  
 Scale up, 76  
 Screen, 51,52,200  
 Sel Elektrodialisis, 46  
 Selulosa, 35,36,41  
 SEM, 69,71,86  
*Shell*, 22,31,84,201  
 Sikloheksanol, 36  
 Sistem Cross-Flow, 37,38  
 Sistem Dead-End, 37,38  
 Spacer, 21,49,51,52,56,63,200,201  
 Spiral Wound, 19,20,21,30,31,201  
 Stabilitas, 22,32,33,50,51,81  
 Stage, 6,36,97  
 Sudut kontak, 24,72,79,80  
 Surfactan, 73,74,93  
 Suspensi, 11,16,26,31,38,43,58,59  
 Sweeping gas, 75,76,77,81,82,102,196  
 Tahanan, 7,8,11,35,40,41,50,51,53,58,63,66,81,84,100,109,115,116,131,132  
 Tahap, 7,9,33,39,40,52,54,55,59,73,74,84,94,101,107,114,117,132,133  
 Tapered Cascade, 27  
 Tekstil (Indigo), 32  
 Temulawak, 92  
 Termal, 10,32,33,42,69  
 Termodinamika, 33,34  
*Termoporometry*, 34,201  
 Thin film Composite, 23,26  
 Titanium, 52  
 Tortuosity, 24  
 Tubular, 19,20,31,42,76,201

Ultrafiltrasi, 16,17,23,25,29,30,31,32,33,34,36,38,39,42,43,59,60,68,75,93,94,  
118,120,129, 136,199  
VCO, 91  
Virus, 38,72,106,107  
Voltage, 61

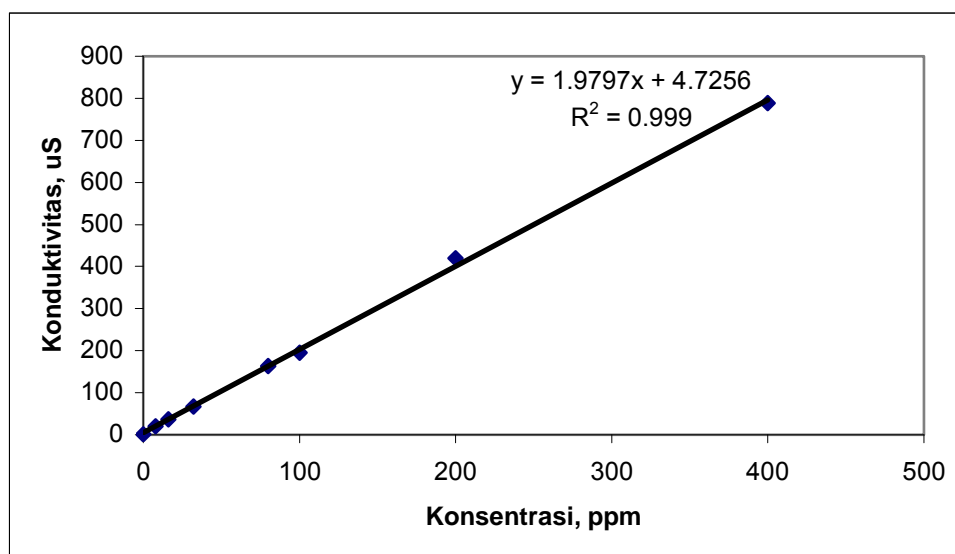


## LAMPIRAN A

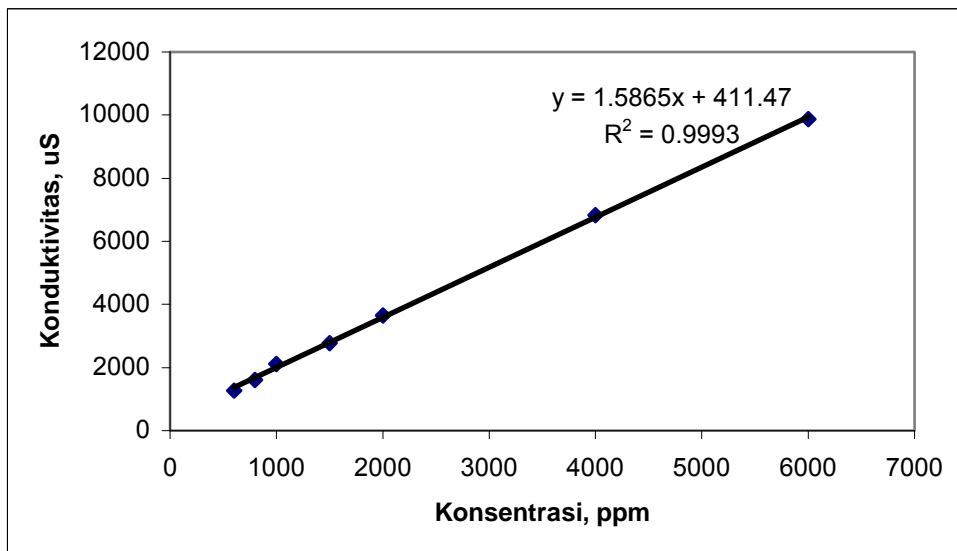
### DATA KALIBRASI

**Tabel A.1 Data Kalibrasi Konduktivimeter**

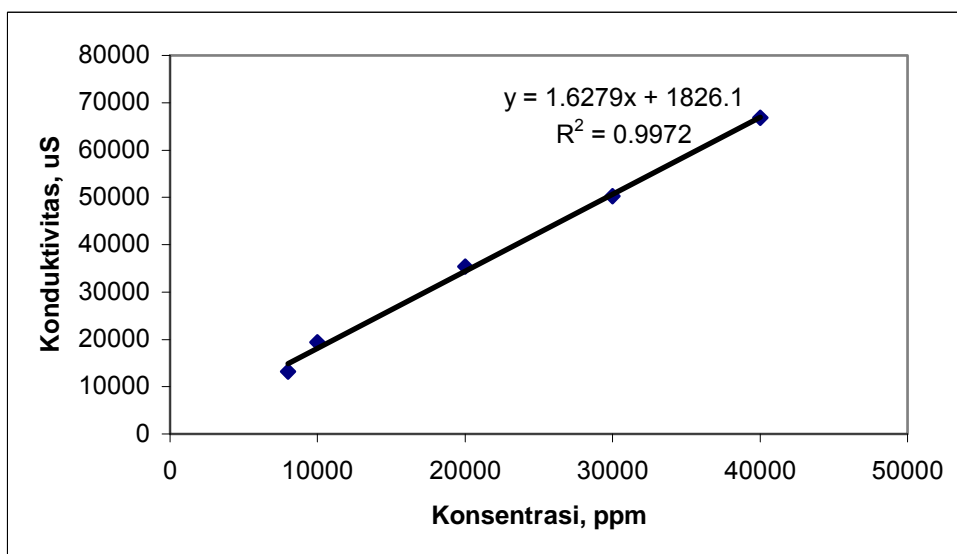
| No. | Skala rendah<br>Konsentrasi |     | Skala Sedang<br>Konsentrasi |      | Skala Tinggi<br>Konsentrasi |       |
|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|------|-----------------------------|-------|
|     | $\mu\text{S}$               | ppm | $\mu\text{S}$               | ppm  | $\mu\text{S}$               | ppm   |
| 1.  | 1,6                         | 0   | 1262                        | 600  | 13200                       | 8000  |
| 2.  | 20,8                        | 8   | 1604                        | 800  | 19340                       | 10000 |
| 3.  | 36,4                        | 16  | 2120                        | 1000 | 35400                       | 20000 |
| 4.  | 66,9                        | 32  | 2780                        | 1500 | 50200                       | 30000 |
| 5.  | 163,5                       | 80  | 3650                        | 2000 | 66800                       | 40000 |
| 6.  | 194,6                       | 100 | 6820                        | 4000 |                             |       |
| 7.  | 420,1                       | 200 | 9870                        | 6000 |                             |       |
| 8.  | 788,9                       | 400 |                             |      |                             |       |



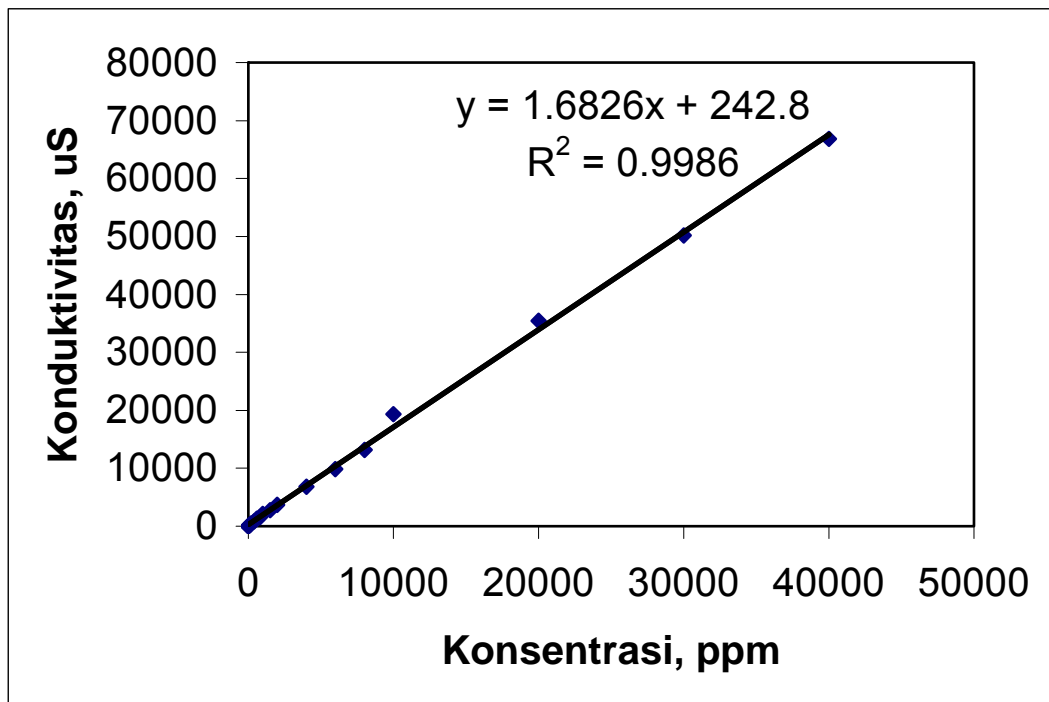
**Gambar A.1 Kalibrasi Konduktivimeter Larutan NaCl Skala Rendah**



**Gambar A.2 Kalibrasi Konduktivimeter Larutan NaCl Skala Sedang**



**Gambar A.3 Kalibrasi Konduktivimeter Larutan NaCl Skala Sedang**



**Gambar A.4 Kalibrasi Konduktivimeter larutan NaCl untuk skala rendah, sedang dan tinggi**

## LAMPIRAN B

### CONTOH PERHITUNGAN

#### B.1 Perhitungan laju aliran Silang untuk proses Mikrofiltrasi

Dimensi pipa : diameter dalam = 1/8 inch = 0,3175 cm

$$\text{luas diameter dalam pipa} = 0,37 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} v &= 15,54 \text{ cm}^3 / dt \\ &= 15,54 \frac{\text{cm}^3}{dt} \times \frac{1}{0,37 \text{ cm}^2} \times \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} \\ &= 0,42 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

#### B.2 Perhitungan laju alir untuk proses Elektrodialisis

Dimensi pipa : diameter dalam pipa = 1/8 inch = 0,3175 cm

$$\text{Luas pipa} = 0,057 \text{ inch}^2 = 0,37 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} v &= 10 \text{ cm}^3 / 5,4 \text{ dt} \\ &= 1,85 \text{ cm}^3 / dt \times \frac{1}{0,37 \text{ cm}^2} \\ &= 5 \text{ cm/dt} \end{aligned}$$

#### B.3 Perhitungan Fluks diluat

$$J = z \Delta C.F.m. \Delta E / \Delta X \quad , \text{ persamaan 25}$$

$$\text{untuk Na}^+, z = 1 \text{ (Mulder, 1990), } m = \frac{2 \text{ mol.m}}{N.dt}, F = 96.500 \frac{\text{A.t}}{\text{mol}}, \Delta E = 2 \text{ Volt}$$

$$A \times V = \text{watt}, \text{ watt} = \text{m}^2.\text{kg}.\text{dt}^{-3}, N = \text{m}.\text{kg}.\text{dt}^{-2}, \text{BM NaCl} = 58,5 \text{ g/mol}$$

dengan : J = fluks ion melewati membran

$$z = \text{bilangan valensi garam NaCl}$$

$$\Delta C = \text{beda konsentrasi antara konsentrat dan diluat}$$

$$m = \text{mobilitas ion NaCl}$$

F = konstanta faraday,

$\Delta E$  = beda potensial pada membran

Untuk C = 25.000 ppm pada batch 1, T=30°C, hasil diluat air tawar 11.600 ppm (tabel 5.62).

$$C = 25.000 \text{ ppm} = 25.10^3 \text{ mg/l} = 25.10^3 \text{ g/m}^3, \Delta C/\text{BM} = \text{g/m}^3 : \text{g/mol} = \text{mol/m}^3$$

$$J = 1 \times (25.10^3 - 11.6.10^3) / 58,5 \text{ mol/m}^3 \times 96.500 \text{ A. dt/mol} \times 2 \text{ mol.m/N.dt} \times 2 \text{ volt/m} \times 0,0016$$

$$J = 1 \times 0,229.10^3 \text{ mol/m}^3 \times 96.500 \text{ dt/mol} \times 2 \text{ mol.m./m.kg.dt}^2 \text{.dt} \times 2 \text{ watt/m} \times 0,0016$$

$$= 1 \times 0,229.10^3 \text{ mol/m}^3 \times 96.500 \text{ dt/ mol} \times 2 \text{ mol.m/m.kg.dt}^2 \text{.dt} \times 2 \text{ m}^2 \text{.kg.dt}^{-3} / \text{m} \times 0,0016$$

$$J = 141,467.10^3 \text{ mol/m}^2 \text{.dt}$$

### **B.5 Perhitungan E (energi) berdasarkan penelitian**

I (arus) yang dipergunakan berdasarkan kinetika transport ion adalah  $I_{\text{lim}}$ .

Untuk  $\Delta C = 25.000 \text{ ppm} - 2.200 \text{ ppm}$ , T=25°C, I total = 4,776 A, t = 8 jam

E = 2 x I (A) x V (volt) x 8 jam, diambil voltase drop setiap pasang sel = 1 volt (Seader, 2001)

$$E = 2 \times 4,776 \text{ A} \times 2 \text{ volt} \times 8 \text{ jam} = 152,832 \text{ wattt jam}$$

Setiap kali proses dilakukan untuk 8 lt air tawar, sehingga kebutuhan energi untuk setiap proses adalah :

$$E = 152,832 / 8 \text{ watt.jam/lt}$$

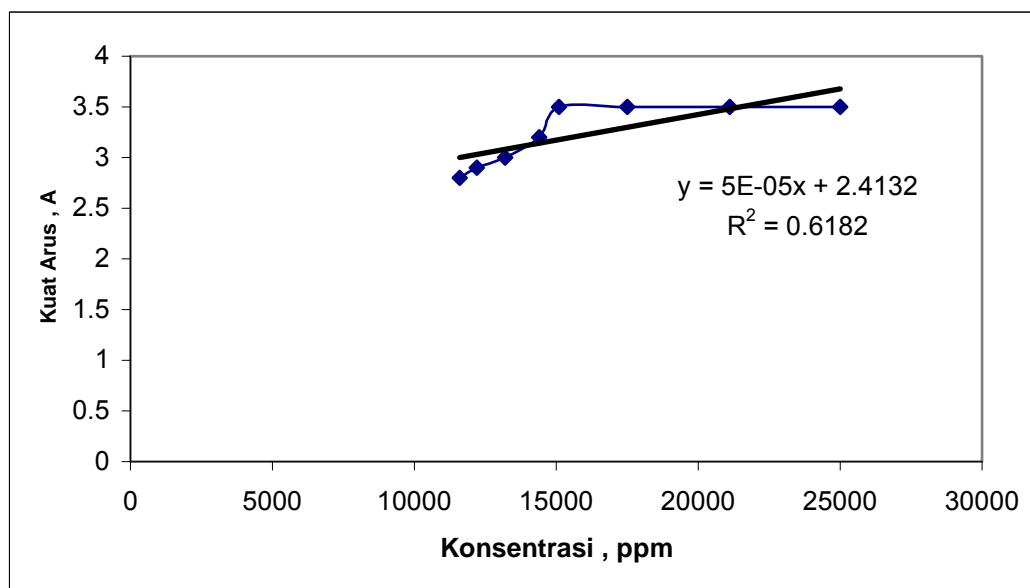
$$= 19,104 \text{ watt.jam/lt}$$

## B.6 Perhitungan Arus rata-rata tiap batch (A)

Untuk mendapatkan besarnya arus rata-rata tiap batch, maka dari masing-masing tabel dibuat dahulu persamaan fungsinya dengan menggunakan regresi linier, lalu dihitung harga rata-rata dari fungsi tersebut. Contoh untuk Tabel 5.63 :

**Tabel 6.48 Hasil Desalinasi Air Laut untuk konsentrasi TDS 25.000 ppm, dan Temperatur T=30<sup>0</sup>C, laju alir 5 cm/dt, 10 cm/dt, batch ke ; 1.**

| Waktu | Konsentrasi (ppm) |          | Kuat Arus (A) |
|-------|-------------------|----------|---------------|
|       | 5 cm/dt           | 10 cm/dt |               |
|       | 25.000            | 25.000   | 3,5           |
| 15    | 21.100            | 22.000   | 3,5           |
| 30    | 17.500            | 19.100   | 3,5           |
| 45    | 15.100            | 17.600   | 3,5           |
| 60    | 14.400            | 16.500   | 3,2           |
| 75    | 13.200            | 15.300   | 3             |
| 90    | 12.200            | 13.100   | 2,9           |
| 120   | 11.600            | 12.100   | 2,8           |



Gambar B.1 Konsentrasi, ppm vs Kuat Arus, A

Dari grafik diatas diperoleh persamaan :

$$y = 5.10^{-5}x + 2,4132$$

Kemudian dihitung  $\bar{y}$  rata –rata atau A rata-rata sbb :

$$\bar{y} = \frac{1}{(25.000-11.600)} \int_{11.600}^{25.000} (5.10^{-5} \cdot x + 2,4132) dx$$

$$\bar{y} = \frac{1}{13.400} \int_{11.600}^{25.000} (5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{2} \cdot x^2 + 2.4132 \cdot x) dx$$

$$\bar{y} = \frac{1}{13.400} (5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{2} \cdot 25.000^2 + 2.4132 \cdot 25.000) - (5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{2} \cdot 11.600^2 + 2.4132 \cdot 11.600)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{13.400} (75955 - 31357,12)$$

$$\bar{y} = 3,328$$